

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-288197

(43)Date of publication of application : 01.11.1996

(51)Int.Cl.

H01L 21/027

G01B 11/00

G03F 9/00

(21)Application number : 07-088985

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 14.04.1995

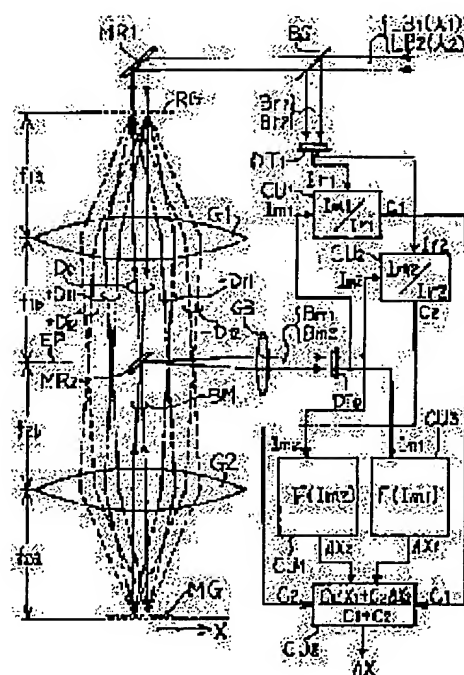
(72)Inventor : SHIRAISHI NAOMASA

(54) POSITION DETECTION METHOD AND DEVICE

(57)Abstract:

PURPOSE: To prevent the influence of the surface state of a substrate by projecting illumination light to a diffraction grating formed on a substrate for detecting position and photoelectrically detecting the diffraction light from the diffraction grating.

CONSTITUTION: One of a plurality of irradiation beams $\pm D11$ and $\pm D22$ is successively switched and projected to a diffraction grating MG to successively generate a plurality of diffraction beams. A plurality of diffraction beams Bm1 and Bm2 created by the interference of the diffraction beams are successively received by a photoelectric element DT0. Then, each position information $\Delta X1$ and $\Delta X2$ of a diffraction grating MG is calculated by circuit units CU3 and CU4 on the basis of



photoelectric signals Im1 and Im2 which are outputted when the photoelectric element DT0 is receiving interference beams Bm1 and Bm2. Then, weighting coefficients C1 and C2 according to the amplitude values of the photoelectric signals Im1 and Im2 are added and the position information $\Delta X1$ and $\Delta X2$ are subjected to weighted averaging by a circuit unit CU5, thus determining the position of the diffraction grating MG or the amount of position deviation.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-288197

(43) 公開日 平成8年(1996)11月1日

(51) Int. Cl. ⁶	級別記号	片内整理番号	P I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 2 2 D
G 0 1 B 11/00			G 0 1 B 11/00	G
G 0 3 F 9/00			G 0 3 F 9/00	H

審査請求 未請求 請求項の数10 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願平7-88935

(22) 出願日 平成7年(1995)4月14日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 白石 直正

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

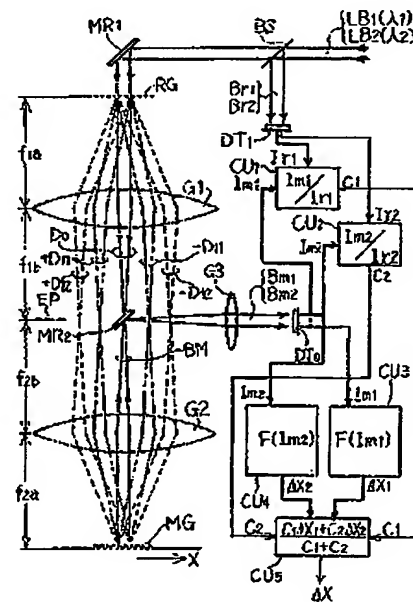
式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 位置検出方法、及び位置検出装置

(57) 【要約】

【目的】 基板上の回折格子マークの位置を検出する際、そのマークの振幅反射率の影響による精度劣化を低減する。

【構成】 基板上の回折格子マークを照明する送光ビームを互いに異なる複数の波長成分の夫々に時分割的に順次切り換え、各波長成分の送光ビーム毎に格子マークからの回折光を光電検出し、各波長成分毎に個別に格子マークの位置、又は位置ずれを算出した後、各波長成分毎の位置（又は位置ずれ量）を各波長成分の光電信号の振幅に応じて加重平均化する。



(2)

特開平 8-288197

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項 1】位置検出すべき基板上に所定のピッチで形成された回折格子状の格子パターンに対称的な 2 方向から可干渉性の照明ビームを照射し、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち、2 以上の次数差をもって同一方向に進む 2 つの回折光同志の相互干渉光を光電検出手段で受光し、該光電検出手段から出力される光電信号に基づいて前記格子パターンの周期方向の位置を検出する方法において、

互いに波長の異なる n 個の可干渉性ビームを放出するための複数の光源を用意し、前記格子パターンを対称的な 2 方向から照射する照明ビームとして、前記複数の光源の各々からの可干渉性ビームを時間的に順次切り換えて 1 波長毎に所定の照射時間分ずつ供給する段階と；該所定の照射時間分ずつ波長が切り換えられた照明ビームの照射により前記格子パターンから発生する相互干渉光を前記光電検出手段で受光し、該相互干渉光の各波長毎の光量に応じてレベル変化する n 個の光電信号を発生させる段階と；前記 n 個の光電信号の各々に基づいて前記格子パターンのピッチ方向に関する n 個の位置情報を算出する段階と；前記 n 個の光電信号の各々の振幅値に応じた重みを付加して前記 n 個の位置情報を加重平均演算することによって前記格子パターンの位置を確定する段階とを備えたことを特徴とする位置検出方法。

【請求項 2】前記可干渉性の照明ビームによって生成される 1 次元の干渉縞と前記格子パターンとを相対的にピッチ方向に走査し、該走査によって前記光電検出手段から発生する n 個の光電信号の各々をほぼ正弦波状にレベル変化する周期波形にし、該周期波形の振幅値を前記加重平均演算の際の重み係数として利用することを特徴とする請求項第 1 項に記載の位置検出方法。

【請求項 3】前記複数の光源の各々から放出される n 個の可干渉性ビームを前記所定の照射時間分ずつ順次切り換えて共通の周波数シフターに入射させることによって、前記格子パターンを対称的な 2 方向から照射する 1 対の照明ビーム間に一定の周波数差を与え、前記干渉縞を該周波数差に応じた速度で移動させることを特徴とする請求項第 2 項に記載の位置検出方法。

【請求項 4】前記 n 個の光電信号の各々は、前記格子パターンからはほぼ垂直に発生する各波長成分毎の $+1$ 次回折光と -1 次回折光との相互干渉光の光量に応じてレベル変化することを特徴とする請求項第 1 項、第 2 項、第 3 項のいずれか一項に記載の位置検出方法。

【請求項 5】前記 n 個の光電信号は、前記格子パターンから発生する各波長成分毎の $+1$ 次回折光と -1 次回折光との相互干渉光の光量に応じてレベル変化する n 個の第 1 光電信号群と、前記格子パターンから発生する各波長成分毎の 0 次回折光と 2 次回折光との相互干渉光の光量に応じてレベル変化する n 個の第 2 光電信号群とを含み、前記位置情報を算出する段階は前記 n 個の第 1 光電

信号群の各々に基づいて前記格子パターンのピッチ方向に関する n 個の第 1 位置情報を算出するとともに、前記 n 個の第 2 光電信号群の各々に基づいて前記格子パターンのピッチ方向に関する n 個の第 2 位置情報を算出する処理を含むことを特徴とする請求項第 1 項、第 2 項、第 3 項のいずれか一項に記載の位置検出方法。

【請求項 6】位置検出すべき基板を保持する可動ステージと、該基板上に所定のピッチで形成された回折格子状の格子パターンに対称的な 2 方向から可干渉性の照明ビームを照射する照射手段と、前記格子パターンから発生する複数の回折光のうち 2 以上の次数差をもって同一方向に進む 2 つの回折光同志の相互干渉光を受光する光電検出手段とを備え、該光電検出手段から出力される光電信号に基づいて前記格子パターンの周期方向の位置を検出する装置において、

互いに波長の異なる n 個の可干渉性ビームを放出する複数の光源と；前記格子パターンを対称的な 2 方向から照射する照明ビームの波長を切り換えるために、前記複数の光源の各々からの可干渉性ビームを 1 波長毎に所定の照射時間分ずつ時間的に順次切り換えて前記照射手段に供給する切り換え手段と；該切り換え手段によって波長が切り換えられた照明ビームの照射により前記格子パターンから発生する相互干渉光を前記光電検出手段で受光し、該相互干渉光の各波長毎の光量に応じてレベル変化する n 個の光電信号の各々に基づいて前記格子パターンのピッチ方向に関する n 個の位置情報を検出する波長別位置検出手段と；前記 n 個の光電信号の各々の振幅値に応じた重みを付加して前記 n 個の位置情報を加重平均演算することで前記格子パターンの位置を決定する位置決定手段とを備えたことを特徴とする位置検出装置。

【請求項 7】前記位置決定手段は、前記可干渉性の照明ビームによって生成される 1 次元の干渉縞と前記格子パターンとを相対的にピッチ方向に移動させたときに、前記光電検出手段から発生する n 個の光電信号の各々のレベル変化の振幅値を検出する振幅検出回路と、該検出された各波長毎の振幅値に基づいて前記 n 個の位置情報を加重平均する平均演算回路とを含むことを特徴とする請求項第 6 項に記載の位置検出装置。

【請求項 8】前記照射手段は、前記切り換え手段で順次切り換えられた前記 n 個の可干渉性ビームを入射して前記格子パターンを対称的な 2 方向から照射する 1 対の照明ビーム間に一定の周波数差を与える周波数シフターを含み、前記干渉縞を該周波数差に応じた速度で移動させることを特徴とする請求項第 7 項に記載の位置検出装置。

【請求項 9】前記光電検出手段は、前記格子パターンから発生する各波長成分毎の $+1$ 次回折光と -1 次回折光との相互干渉光の光量に応じてレベル変化する n 個の第 1 光電信号を前記照明ビームの切り換えに 대응して順次出力する第 1 の光電素子と、前記格子パターンから発生

(3)

特開平8-288197

3

する各波長成分毎の0次回折光と2次回折光との相互干渉光の光量に応じてレベル変化するn個の第2光電信号を前記照明ビームの切り換えに応じて順次出力する第2の光電素子を含むことを特徴とする請求項第6項、第7項、第8項のいずれか一項に記載の位置検出装置。

【請求項10】第1の回折格子が形成された第1基板と第2の回折格子が形成された第2基板とを結像光学系を挟んで対向配置させる手段と、前記第1の回折格子に可干渉性の照明ビームを照射することによって、前記第1の回折格子から発生する複数の回折光を前記結像光学系を介して前記第2の回折格子に投射させる照射手段と、該第2の回折格子から発生する複数の再回折光のうち同一方向に進む2つの回折光同志の相互干渉光を受光する光電検出手段とを備え、該光電検出手段から出力される光電信号に基づいて前記第1の回折格子と第2の回折格子との周期方向の相対的な位置関係を検出する装置において、

互いに波長の異なるn個の可干渉性ビームを放出する複数の光源と；前記第1の回折格子を照射する照明ビームの波長を切り換えるために、前記複数の光源の各々からの可干渉性ビームを1波長毎に所定の照射時間分ずつ時間的に順次切り換えて前記照射手段に供給する切り換え手段と；該切り換え手段によって波長が切り換えられた照明ビームの照射により前記第2の回折格子から発生する相互干渉光を前記光電検出手段で受光し、該相互干渉光の各波長毎の光量に応じてレベル変化するn個の光電信号の各々に基づいて前記第1の回折格子と第2の回折格子との周期方向に関するn個の相対位置ずれ情報を検出する波長別位置検出手段と；前記n個の光電信号の各々の振幅値に応じた重みを付加して前記n個の相対位置情報を加重平均演算することで前記第1の回折格子と第2の回折格子との相対位置ずれを決定する位置決定手段とを備えたことを特徴とする位置検出装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、例えば半導体素子等を製造する際にマスクパターンを感光性の基板上に露光するフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置に適用されるマスクパターンと感光性基板の相対的な位置合わせ技術に関し、特に感光基板上のマークパターンの検出技術に関するものである。

【0002】

【従来の技術】例えば半導体素子、液晶表示素子又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程では、転写用のパターンが形成されたフォトマスク又はレチクル（以下、まとめて「レチクル」という）の像を、投影光学系を介した投影露光法あるいはプロキシミティ露光法により、フォトリソグが塗布されたウェハ（又はガラスプレート等の感光基板）上に転写する露光装置が使用されている。

4

【0003】このような露光装置においては、露光に先立ってレチクルとウェハとの位置合わせ（アライメント）を高精度に行う必要がある。このアライメントを行うために、ウェハ上には以前の工程で露光転写されてエッチング形成された位置検出用マーク（アライメントマーク）が形成されており、このアライメントマークの位置を検出することで、ウェハ全体またはウェハ上の回路パターン領域の正確な位置を検出することができる。

【0004】近年、ウェハ（又はレチクル）上のアライメントマークを1次元、又は2次元の格子状にし、その格子マーク上にピッチ方向に対称的に傾斜した2つのコヒーレントビームを投射し、格子マークから同一方向に発生する2つの回折光成分を干渉させて格子マークのピッチ方向の位置や位置ずれを検出する方法が、例えば（A）特開昭61-208220号公報、（B）特開昭61-215905号公報等で提案された。このうち公報（A）は2つの対称的なコヒーレントビームの周波数を同一にしたホモダイン方式を開示し、公報（B）は2つの対称的なコヒーレントビームの間に一定の周波数差を持たせたヘテロダイン方式を開示している。

【0005】さらにヘテロダイン方式の位置検出装置を縮小投影露光装置内のTTR（スルーザレチクル）アライメント系やTTL（スルーザレンズ）アライメント系に適用したものが、（C）特開平2-227602号公報、（D）特開平3-2504号公報等で提案されている。これら公報（C）、（D）に開示されたヘテロダイン方式では、2つの音響光学変調素子（AOM）にHe-Neレーザビームを同時に入射させ、各AOMを例えば25KHz程度の周波数差を持つ高周波駆動信号（一方が80MHz、他方が79.975MHz）で駆動し、各AOMから射出される回折ビームの間に25KHzの周波数差を与えている。そしてそれら2つの回折ビームを、ウェハ上、又はレチクル上の格子マークに所定の交差角で照射するための一対の送光（照明）ビームとしている。

【0006】またヘテロダイン方式では、2つの送光ビーム間の周波数差（25KHz）を基準交流信号とし、格子マークから発生した2つの回折光成分の干渉光（ビート光）を光電検出した信号と基準交流信号との位相差を計測し、それを格子マークのピッチ方向に関する基準点からの位置ずれ量として検出している。以上のようなヘテロダイン方式では、格子マークを照明する2つの送光ビームの単色性が良好な程、位置ずれの検出精度や分解能が向上し、ナノ・メートルオーダの位置検出、位置合わせが可能となる。しかしながら2つの送光ビームの単色性が良好ということは、格子マークから発生する各種回折光間の波長オーダの位相が格子マークの非対称性やレジスト層等に応じて敏感に変化し易いことを意味する。

【0007】このうちレジスト層による影響は、露光装

(4)

特開平8-288197

5

置におけるウェハアライメント時の宿命的な問題であり、マーク部分のレジストを局所的に除去するという特別な手法を併用しない限り、又は光学的なマーク検出手法を断念しない限り避けては通れない問題である。そこで、レジスト層による影響、あるいはマークの断面形状の非対称性による影響を低減してより正確な位置検出を可能としたヘテロダイン方式が(E)特開平6-82215号公報によって提案された。その公報(E)には波長が異なる複数のビームまたは白色ビームを用い、このビームを固定の回折格子に照射して得られる2つの回折ビームを1段目のAOMに入射し、このAOMで回折された0次ビーム、+1次回折ビーム、-1次回折ビームを2段目のAOM内で交差するようにリレーすることによって、例えば第1の波長による一対の送光ビームと第2の波長による一対の送光ビームを作り、それら2組の送光ビームを同時にウェハ上の格子マークに投射する手法が開示されている。

【0008】この際、格子マークから発生して光電検出される干渉ビート光には第1の波長成分と第2の波長成分とが含まれるが、それらは光電素子の受光面上で光量として加算された形で光電検出される。このため、レジスト層の薄膜干渉の影響またはマーク断面形状の非対称性の影響による各波長成分毎の干渉ビート光の相互位相差が強度的に平均化され、より正確な位置検出が可能になるのである。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のように位置検出に使用する照明光束を複数の波長または所定の波長帯域幅を有するビームにし、格子マークから発生する複数の波長成分を含む干渉光を同一の光電素子で同時に受光する場合、照明光束の中に強度の高い波長成分があると、格子マークからの干渉光もその波長成分のところで強められ、平均化効果を得る上で問題となることがある。さらに、照明光束中の各波長成分が仮に同じ強度であったとしても、ウェハ等の感光基板の表面状態(レジストの厚み等)、格子マークの非対称性の程度等)によっては、格子マークからの干渉光の各波長成分毎の強度に大きな差が生じることも起こり得る。

【0010】このため、格子マークから発生した複数の波長成分を含む干渉光を単一の光電素子で受光しても、基板の表面状態によっては必ずしも良好な位置検出精度を得られない場合が生じ得る。そこで本発明は上述の問題を解決し、ウェハ等の基板の表面状態に影響され難い位置検出方法、又は装置を提供することを目的とする。さらに本発明は、複数の波長成分を含む照明光束を基板上の格子パターンに照射して格子パターンの位置を計測する際、基板表面の状態に依

6

存した格子パターンの位置計測誤差を低減した高精度な位置合わせ(アライメント)装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明は、位置検出すべき基板(ウェハW、又はフィジューショナル板FG)上に形成された回折格子(MG)に照明光を投射し、回折格子(MG)からの回折光を光電検出することによって基板の位置を検出する方法、または装置に適用される。

【0012】そこで図5を参照して本発明の構成を概略的に説明すると、まず回折格子(MG)に互いに異なる中心波長(λ_1 , λ_2)の複数の照明ビーム(基準格子RGで回折されたビーム $\pm D_{11}$, $\pm D_{22}$)のうちの1つを順次切り換えて時分割的に投射し、回折格子(MG)から各波長成分毎の複数の回折ビームを順次発生させる。

【0013】そして発生した複数の回折ビームのうち第1の波長成分(λ_1)から成る互いに2の次数差(+1次と-1次、又は0次と2次)を有する2つの回折ビームの干渉によって作られる第1の干渉ビーム(B_{m1})と、第2の波長成分(λ_2)から成る互いに2の次数差(+1次と-1次、又は0次と2次)を有する2つの回折ビームの干渉によって作られる第2の干渉ビーム(B_{m2})とを順次光電素子(DT0)で受光する。

【0014】図5では、結像光学系を成すレンズ系G1, G2のフーリエ変換面EPの中央に配置された小ミラーMR2に向かって戻って来る干渉ビームBMが、基準格子RGを照射する光源からのビームLB1, LB2の切り換えに応じて、波長成分 λ_1 の第1の干渉ビームB_{m1}と波長成分 λ_2 の第2の干渉ビームB_{m2}のいずれかになっている。

【0015】そして次に、光電素子(DT0)が第1の干渉ビーム(B_{m1})を受光しているときに出力された光電信号(I_{m1})に基づいて回折格子(MG)の周期方向に関する第1の位置情報(ΔX_1)を回路ユニットCU3で算出し、光電素子(DT0)が第2の干渉ビーム(B_{m2})を受光しているときに出力される光電信号(I_{m2})に基づいて回折格子(MG)の周期方向に関する第2の位置情報(ΔX_2)を回路ユニットCU4で算出する。そして最後に、各光電信号(I_{m1}), (I_{m2})の振幅値(図5では基準格子RGを時分割に照明する波長 λ_1 のビームLB1、波長 λ_2 のビームLB2の一部の光量を検出する光電素子DT1の信号を利用)に応じた重み係数(C1, C2)を付加して第1の位置情報と第2の位置情報とを回路ユニットCU5により加重平均演算することによって回折格子(MG)の位置、または位置ずれ量を測定するようにした。

【0016】

【作用】一般にウェハ等の表面に形成される位置合せ用、位置計測用のマークは、その表面に微少な段差を待

(5)

特開平8-288197

7

って作られるが、半導体加工工程上のエッチングやスパッター等のウエハプロセス、あるいはフォトリソスト層の塗布ムラによって多少の非対称性を有している。その非対称性はマーク位置検出時の精度低下を招く。

【0017】格子マークから発生した2つの回折光の相互干渉光を光電検出し、その光電信号を利用する干渉式アライメント法においては、格子マークの非対称性はマーク自体の振幅反射率の非対称性となって位置検出精度の劣化に作用する。すなわち、格子マークを構成するラインの溝底部の深さ等が格子ピッチ方向に差を持った

り、レジスト層の厚みに部分的な差があった場合、マーク自体の振幅反射率の絶対値と位相とは、溝底部の深さやレジスト厚の変化に応じて非対称になる。この結果、格子マークから発生する回折光も例えば0次光に対して右方向に発生する正の次数と左方向に発生する負の次数とで強度や位相が異なったものになってしまう。このうち強度の差は位置検出精度の劣化にほとんど寄与しないが、位相の変化は位置検出精度に大きな影響を与える。

【0018】ところで格子マーク自体の振幅反射率は、マークの深さやレジスト厚だけでなく、照明光（検出光）の波長によっても大きく変動する。検出光の波長を複数（又はブロードバンド）にすると、各波長成分毎にマーク自体の振幅反射率が異なり、位置検出結果も異なったものとなる。そこで、種々のマーク条件のもとでマーク自体の振幅反射率を想定することにより位置検出精度をシミュレーションすることができる。

【0019】本願発明は、特定の波長のみを含む照明光によって格子マークを照射し、その格子マークから発生する回折光を光電検出する場合、光電信号の強度（照明光束と格子マークの相対走査に伴う信号変化の振幅）が極端に小さくなると、総じて位置検出精度も悪化するというシミュレーション上の結果に基づいて着想されたものである。

【0020】そのシミュレーション結果から、本発明では、単一波長の照明光を用いたときに光電信号の振幅が極端に小さくなるような格子マーク条件であっても、別の波長の照明光を併用した波長毎の位置検出結果を加算平均することで位置検出精度の極端な悪化を防止するようにしたのである。そこで、従来のように単一波長の照明光を用いたヘテロダイン方式での位置検出精度のシミュレーション結果を図1、図2を参照して説明する。このシミュレーションは、レジスト層が被覆されたウエハ上の格子マークに対称的な2方向から一定の回波数差をもつ2つのコヒーレントビームを照射する場合を想定し、格子マークから垂直に発生した±1次回折光の相互干渉光、すなわち干渉ビート光の状態（振幅、位相等）を波長を変化させて観察することで得たものである。

【0021】図2は、シミュレーションで想定したウエハ等の1次元格子MGとその表面に塗布されたレジスト層PRとの部分拡大断面を模式的に表したものである。

8

ここで、格子MGのピッチ P_{mq} は $8\mu m$ 、デューティは1:1、溝の段差（又は深さ） T_2 は0.7 μm に設定され、格子MGのボトム部にはピッチ方向のテーパ（傾き） ΔS として0.1%の非対称性を設定した。このような格子MGを覆うレジスト層PRは、格子MGのトップ部の表面からの厚さ T_1 を0.9 μm とし、格子MGの各ボトム部の位置に対応したレジスト層表面でのへこみ量 ΔT が $\Delta T = 0.3T_2$ （0.21 μm ）となるように仮定した。このような図2の格子構造のことを振幅反射率が非対称な格子と呼ぶ。

【0022】図1は、溝軸に照明光または±1次回折光を合成した干渉光の波長 λ （ μm ）を取り、縦軸にその干渉光の光量変化に応じた信号の変化分（交流成分）の相対的な振幅と位置検出の誤差量（ μm ）とを取ったものである。この図1のシミュレーション結果では、ヘテロダイン方式で受光した干渉光に応じた光電信号の交流成分が丁度零、すなわち直流成分のみになる波長 λ をHe-Neレーザの波長0.663 μm に合わせるように、図2の格子マーク構造とレジスト層の条件を設定した。

【0023】これから明らかなように、波長0.663 μm のレーザ光を使うと、その波長近傍（±20nm程度）ではマーク位置の検出誤差が非常に大きくなることがわかる。これはヘテロダイン方式では当然のことで、位相差計測すべき光電信号にビート周波数に応じた交流成分がまったく含まれていなければ、位相差計測自体が不能になるからである。このことは、同じ条件の格子マーク構造とレジスト層のもとで、ホモダイン方式で位置検出する場合も全く同じである。

【0024】そこで、図2のような条件下でも、波長 λ が0.670 μm 又は0.725 μm 程度の半導体レーザを照明ビームにすると、マーク位置の検出誤差を十分に小さく抑えることができる。このことから、He-Neレーザと半導体レーザ等のように波長が異なる2色以上の照明ビームを用い、信号の変化分（交流成分）の振幅が大きい方の波長のビーム照射のもとで検出されたマーク位置（又は位置ずれ量）を重視（選択、又は重み付け）することが有効となる。

【0025】あるいは、特定の一方方向に進む2つの1次回折光の干渉光のみを検出するのではなく、別な方向に進む0次光と2次回折光との干渉光を光電検出し、その信号に基づいて決定されたマーク位置も考慮するという方法もある。図3は、回折格子マークMGに波長 λ_1 の2つの照射ビーム±L1と波長 λ_2 の2つの照射ビーム±L2とをそれぞれ対称的に入射し、格子マークMG上に波長 λ_1 と λ_2 とで同一の強度分布のピッチPifを持つ干渉縞が生成されるビーム入射条件とした上で、格子マークMGのピッチ P_{mq} を $P_{mq} = 2P_{if}$ の関係にしたときの0次光、±1次、±2次の各回折光の発生を示したものである。

(6)

特開平8-288197

9

【0026】図3で格子マークMGと垂直に進む1次回折光±D1nの干渉ビームBMには波長 λ_1 、 λ_2 の両方の成分が含まれている。そして0次光（正規反射光）は、ビーム±L1と±L2とで入射角がわずかに異なるために、それぞれのビーム±L1、±L2に対応して±D01、±D02の4本が互いに異なる方向に進む。ここでD01、D02の添字の1項目は回折次数を表し、2項目は波長（ λ_1 、 λ_2 ）を表す。

【0027】さて、ビーム±L1の照射によって発生した2次光-D21はビーム+L1の光路を逆進する方向に進み、ビーム-L1の0次光+D01と干渉する。同様に、他の2次光+D21、-D22、+D22もそれぞれ対応する0次光-D01、+D02、-D02と同一方向に進む。これら0次光と2次光との干渉光も、±1次光の干渉ビームBMと同様に、格子MGと干渉縞との相対変位に応じて強度変化する。

【0028】そこで、波長 λ_1 のみに着目して考えると、1次成分（1次光±D11の干渉ビームBM）を光電検出してマークの位置（又は位置ずれ）を求めるとともに、2つの2次成分（0次光+D01と2次光-D21の干渉光と0次光-D01と2次光+D21の干渉光）の夫々を光電検出し、2つの2次成分の夫々の信号を使って個別に求められたマーク位置を平均した値をマークの位置として求める。そして1次成分の信号の振幅値と2次成分の各信号の振幅の平均値との大小関係に応じて、1次成分を使って検出されたマーク位置と2次成分を使って検出されたマーク位置とのいずれか一方を選択したり、重み付け平均を行う等の方法が有効となる。

【0029】このように、マーク検出に使う回折光の次数を変えるのは、次数に応じて格子MGから発生する回折光の方向が異なるため、ある方向に進む次数成分の干渉光の強度変化の振幅が小さくなって検出精度が悪化する場合でも、別の方向に進む次数成分の干渉光の強度変化の振幅はそれ程小さくならず、検出精度を悪化させないことがあるからである。

【0030】このことは図4に示したシミュレーション結果からも確かめられる。図4は、波長0.633 μm のHe-Neレーザを照射ビームとし、図2中の格子MGの段差T2をパラメータとした信号の変化分（交流成分）の振幅と位置検出誤差との関係のシミュレーショングラフであり、ピッチPmq=8 μm 、デューティ1:

1、テーパ量 $\Delta S=0.1\%$ はそのままレジスト層PRの格子のトップ面での厚さT1を1.15 μm としたものである。そして、図4(A)は1次成分（1次光±D11）の干渉ビームBMの場合のシミュレーションであり、図4(B)は2次成分（0次光±D01と2次回折光±D21）の干渉光の場合のシミュレーションである。

【0031】この図4(A)、(B)から理解されるように、1次成分、2次成分の各干渉光を光電検出して得られた信号の振幅成分は、格子マークの形状（段差T2

10

）の微妙な変化に応じて大きく変化する。例えば図4(A)中で、格子の段差T2が0.86 μm のとき、1次成分の干渉光の強度変化の振幅は極めて小さくなり、その結果位置検出誤差も急激に大きくなっている。しかしながら、図4(B)中で段差T2が0.86 μm のところを見てみると、2次成分の干渉光の強度変化は比較的大きく、位置検出誤差の悪化は少ない。尚、図4(A)、(B)中の信号の変化分の振幅はいずれも相対値として表してあるが、そのスケールは図4(A)と(B)とで合わせてある。

【0032】このように、1次成分の干渉光を使った格子マークの位置検出と2次成分の干渉光を使った格子マークの位置検出とを併用し、そのいずれかの一方の結果を採用するようなアルゴリズムを用いる場合も、先の図1のシミュレーションから明らかなように、波長依存性を利用して複数の波長成分の照明光で得られた検出位置（又は位置ずれ）を加算平均することが良い。

【0033】以上のように、検出光の波長を複数とし、各波長成分毎に得られるマーク位置情報を平均化することによって従来よりも高精度な位置検出が可能となる。また図1に示した通り、ある波長の回折光（干渉光）の光電信号の変化分（交流成分）の振幅が小さいと、その波長の回折光を用いた位置検出精度も劣化する確率が高いというシミュレーション結果も得られている。そこで複数の波長成分の回折光（干渉光）を検出する際、各波長成分毎に検出されたマーク位置を、信号の変化分の振幅が小さいものには小さい重みを、そして振幅が大きいものには大きい重みを掛けて平均化する。このようにすると、大きな誤差を含んでいる確率の高い波長成分の回折光を用いたマーク位置の検出結果には自動的に小さな重みしかかからず、最終的なマーク位置検出結果もそれなりに精度が維持される。また2次成分（0次光と2次回折光の干渉光）の信号を検出する場合も、各波長成分毎に光電検出して得られた信号を使ってマーク位置を個別に求めるので、回折光（干渉光）の受光時に後述するような各波長の相殺効果によってマーク位置が検出できなくなるおそれがない。

【0034】さらに本発明では、格子マーク検出の際に各波長毎の送光ビームを1波長ずつ順次切り換えて照射するようにしたため、1次成分による干渉光を光電検出する光電素子や2次成分による干渉光を光電検出する光電素子を各波長成分毎に複数組設けておく必要がなく、また干渉光を各波長成分毎に弁別するための波長選択手段も省略できる。

【0035】

【実施例】図5は、本発明の第1の実施例による位置検出装置の構成を示し、ここでは2つの回折格子RG、MGの間のピッチ方向（X方向とする）の相対的な位置ずれ量ホモダイン方式で計測する場合を例示する。照明光束としてのビームLB1、LB2は、それぞれ異なる

(7)

特開平8-288197

11

レーザ光源から互いに異なる波長 λ_1 、 λ_2 で射出され、同軸になるように光軸調整された後、時分割に切り換えられてビームスプリッタBS、ミラーMR1を介して格子RGに垂直に照射される。

【0036】ビームスプリッタBSはビームLB1、LB2の一部分（数%程度）のビームBr1、Br2を振幅分割して光電素子DT1に導く。この光電素子DT1は、主照明ビームLB1、LB2の照射によって波長 λ_1 のビームBr1を受光しているときは、その強度値を表す光電信号I_{r1}を出力し、主照明ビームLB2の照射によって波長 λ_2 のビームBr2を受光しているときは、その強度値を表す光電信号I_{r2}を出力する。

【0037】さて、格子RGからはビームLB1、LB2（平行光束）の照射によって、複数の回折光束が発生するが、格子RGを透過型のデューティ1:1の1次元格子とし、そのピッチ方向が図5の紙面内の左右方向だとすると、それら回折光束（回折ビーム）の夫々は図5の紙面内で所定の回折角をもって曲げられる。図5では、それら回折ビームとして波長 λ_1 のビームLB1から生成された1次回折ビーム $\pm D_{11}$ 、波長 λ_2 のビームLB2から生成された1次回折ビーム $\pm D_{12}$ 、及び0次ビームD₀を示してある。もちろん、各波長のビームLB1、LB2毎に、それ以上の高次回折光も発生するが、ここでは説明を簡略化するために1次回折ビームのみを図示した。

$$\sin \theta_1 = \lambda_1 / P_{rg}$$

$$\sin \theta_2 = \lambda_2 / P_{rg}$$

ここで $\lambda_1 < \lambda_2$ とすると $\theta_1 < \theta_2$ になり、図5に示したようにフーリエ変換面EPにおいて、1次回折ビーム $\pm D_{11}$ の方が1次回折ビーム $\pm D_{12}$ の内側（0次ビームD₀側）を通る。

【0041】さて各1次回折ビームは、後群レンズG2を介して物体側に凹凸形状で形成された被計測用の反射型格子MG上でそれぞれ平行光束となって重畳する。このとき、格子MGのピッチ方向もX方向に一致しており、格子MG上には1次回折ビーム $\pm D_{11}$ の2光束干渉による波長 λ_1 の1次元干渉縞（ピッチ方向はX方向）、あるいは1次回折ビーム $\pm D_{12}$ の2光束干渉による波長 λ_2 の1次元干渉縞（ピッチ方向はX方向）のいずれかが生成される。

【0042】このとき、波長 λ_1 の光と波長 λ_2 の光は互いに異なる波長であるため、仮に2つの主照明ビームLB1、LB2を同時に照射しても1次回折ビーム $\pm D_{11}$ と $\pm D_{12}$ の間では干渉がおこらない。そして重要なことは、1次回折ビーム $\pm D_{11}$ によって生成された波長 λ_1 の干渉縞と1次回折ビーム $\pm D_{12}$ によって生成された波長 λ_2 の干渉縞とは、そのピッチがまったく同一であったかも単一の干渉縞として現れることである。

【0043】その干渉縞の強度分布のピッチP_{if}は格子RGのピッチP_{rg}と結像光学系（G1、G2）の倍率M

12

*【0038】さて、各回折ビームは前群レンズ系G1と後群レンズ系G2に分かれた結像光学系に入射する。格子RGが前群レンズ系G1の前側焦点距離f_{1a}の位置に配置され、前群レンズ系G1の後側焦点距離f_{1b}の位置と後群レンズ系G2の前側焦点距離f_{2a}の位置とがほぼ一致してフーリエ変換面EPが形成されていると、各1次回折ビームは後群レンズ系G2の後側焦点距離f_{2a}の位置で交差（結像）する。ただし、レンズ系G1、G2は2つの波長 λ_1 、 λ_2 に対して色収差が補正されているものとする。

【0039】図5では、フーリエ変換面（断面）EPの中央には小さなミラーMR2が固定され、このミラーMR2によって格子RGからの0次ビームD₀は遮光され、後群レンズ系G2へ入射することが阻止される。また各1次回折ビームは格子RGから射出するときは、ビームLB1、LB2と同様に平行光束になっているが、前群レンズ系G1の作用でフーリエ変換面EPの位置でビームウエストとなって収束する。

【0040】ここで、格子RGのピッチをP_{rg}とすると、波長 λ_1 のビームLB1によって発生した1次回折ビーム $\pm D_{11}$ の回折角（0次ビームD₀に対する角度） θ_1 と波長 λ_2 のビームLB2によって発生した1次回折ビーム $\pm D_{12}$ の回折角 θ_2 はそれぞれ以下の式で表される。

$$(1)$$

$$(2)$$

によって決まり、 $P_{if} = M \cdot P_{rg} / 2$ で表される。例えばピッチP_{rg}を4 μ m、倍率Mを1/4（格子RGのパターンサイズが格子MG側で1/4に縮小される）にすると、干渉縞のピッチP_{if}は0.5 μ mとなる。ここで被計測用の格子MGのピッチP_{mq}をP_{mq} = 2P_{if}の関係、すなわちP_{mq} = M · P_{rg}の関係に定めると、格子MGからは1次回折ビーム $\pm D_{11}$ を送光ビームとした再回折光が発生する。

【0044】例えば、1次回折ビーム $\pm D_{11}$ を送光ビームとして格子MGから発生する1つの再回折光は、格子MGから垂直に進む-1次回折光（波長 λ_1 ）であり、1次回折ビーム $\pm D_{12}$ を送光ビームとして格子MGから発生する1つの再回折光は格子MGから垂直に進む+1次回折光（波長 λ_1 ）である。これら垂直に進む波長 λ_1 の±1次回折光は相互の位相状態に応じた干渉強度をもち、干渉ビームBM（B_{m1}）となってミラーMR2へ送る。

【0045】また、格子MGからは1次回折ビーム $\pm D_{12}$ を送光ビームとした再回折光も発生するが、1次回折ビーム $\pm D_{12}$ の照射により格子MGから発生する-1次回折光（波長 λ_2 ）は格子MGから垂直に進み、1次回折ビーム $\pm D_{12}$ の照射により格子MGから発生する+1次回折光（波長 λ_2 ）も格子MGから垂直に進む。これ

(8)

特開平 8-288197

13

ら垂直に進む波長 λ_2 の ± 1 次回折光も相互の位相状態に応じた干渉強度をもち、干渉ビームBM (Bm2) となってミラーMR2へ達する。すなわち干渉ビームBMは、主照明ビームLB1、LB2の切り換えに応じて波長 λ_1 の干渉ビームBm1が波長 λ_2 の干渉ビームBm2のいずれかになる。その干渉ビームBMは、ミラーMR2で反射されて光電検出系を構成するレンズ系G3を介して光電素子DT0に達する。

【0046】光電素子DT0は、主照明ビームLB1が照射されている間に出力される光電信号を、干渉ビームBm1の強度に応じたレベルの光電信号Im1として回路ユニットCU1とCU3に出力し、主照明ビームLB2が照射されている間に出力される光電信号を、干渉ビームBm2の強度に応じたレベルの光電信号Im2として回路ユニットCU2とCU4に出力する。

【0047】尚、図5では信号処理回路の機能を説明し易くするために、回路ユニットCU1とCU2を別けて図示し、回路ユニットCU3とCU4を別けて図示したが、実際の回路構成の上では主照明ビームLB1、LB2が時分割的に切り換えられるので、回路ユニットCU1、CU2のいずれか一方と回路ユニットCU3、CU4のいずれか一方とがあればよい。

【0048】その回路ユニットCU1は光電素子DT1からの信号Ir1と光電信号Im1の振幅値との比C1を $Im1/Ir1$ の演算によって求め、回路ユニットCU2は光電素子DT1からの信号Ir2と光電信号Im2の振幅値との比C2を $Im2/Ir2$ の演算によって求める。これらの比C1、C2のデータは後で述べる加重平均を計算する回路ユニットCU5に出力される。

【0049】さて本実施例ではホモダイン方式を採用したので、干渉ビームBm1、Bm2の強度は格子RGとMGのX方向の相対位置変化に応じて変化し、仮に格子RG、MGがある状態で静止していると信号Im1、Im2のレベルはそれぞれある一定値を取り続ける。そこで格子RGによって生成された格子MG上の干渉縞と格子MGとをX方向に一定量(干渉縞のピッチPmf分以上)だけ相対走査させ、その間に生じる信号Im1、Im2の正弦波状のレベル変化におけるピーク値とボトム値をサンプリングし、その差値を振幅値としてそれぞれ回路ユニットCU1、CU2の演算に使うようにする。

【0050】そこで、図6を参照して干渉縞と格子MGとの位置関係の変化に応じた信号Im1(Im2も同様)の変化を説明する。図6(A)、(B)、(C)でピッチPmfの干渉縞は2光束干渉であるためきれいな正弦波状の強度分布を有し、格子MGのピッチPmqに対して $Pmq = 2Pmf$ に設定されている。図6(A)、(B)、

(C)の順に干渉縞が格子MGに対して右方向に移動していくと、図6(D)のように信号Im1のレベルは正弦波状に変化する。図6(B)のように干渉縞の各ピークが格子MGの段差エッジと重なる位置で信号Im1は点B

14

のようにボトムレベルとなる。ここで図6(D)中の点Aのレベルは図6(A)の位置関係の場合を表し、点Cのレベルは図6(C)の位置関係の場合を表す。

【0051】このように信号Im1は干渉縞と格子MGとがX方向に $Pmq/2$ だけ移動する毎に周期的にレベル変化する。このため、予備的に干渉縞と格子MGとを微動させない限り、検出した信号Im1のピークレベルやボトムレベルを求めることはできない。以上のことは信号Im2についても同様である。信号Im2は ± 1 次回折光の干渉ビームBm2の強度を表すから、図6(D)中に想像線で示したように、信号Im1のレベルと大きく異なることはあっても、信号Im1に対する位相は極端にずれることはない(ただし、レジストの干渉やマークの非対称性によって数%程度ずれることはある)。

【0052】このため干渉縞と格子MGとが静止している任意の位置関係のところでは信号Im1とIm2の各レベルをサンプリングしても、理論上は回路ユニットCU1、CU2による比C1、C2の演算は可能である。しかしながら、図6(D)から明らかなように、信号Im1、Im2がピークとなる点で各レベルをサンプリングした方が各種ノイズの問題や検出精度の点で有利となる。

【0053】一方、回路ユニットCU3、CU4はそれぞれ信号Im1、Im2の振幅値と予め設定された関数または変換演算式 $F(Im1)$ 、 $F(Im2)$ に基づいて、干渉縞と格子MGのX方向の位置ずれ量 $\Delta X1$ 、 $\Delta X2$ を演算する。この位置ずれ量 $\Delta X1$ 、 $\Delta X2$ は例えば図6(D)中の各信号Im1、Im2の特定の1つのピーク点又はボトム点を基準(原点)として、そこから $\pm Pmq/4$ の範囲内の値として求められる。

【0054】本実施例では、主照明ビームLB1、LB2を時分割的に切り換えて照射するようにしたので、主照明ビームLB1を照射して光電信号Im1のレベル変化を検出するときの格子マークMG(ウェハ)のX方向の微動開始位置と、主照明ビームLB2を照射して光電信号Im2のレベル変化を検出するときの格子マークMG(ウェハ)のX方向の微動開始位置とを一致させておくものとする。

【0055】さらに実際の装置構成上は、格子マークMGを移動させる可動ステージの座標位置を格子ピッチPmqよりも十分に分解能の高い測長装置(レーザ干渉計等)で逐次計測するようにし、この測長装置の計測値に基づいて可動ステージをサーボ制御して微動開始位置を再現するようにする。またより望ましい構成としては、そのような測長装置からの位置計測用の位置パルス(例えば、 $0.2\mu m$ の移動毎に1パルス)の各々に応答して各光電信号Im1、Im2のレベル変化をA/D変換し、その変換されたレベルのデジタル値をアドレスと移動位置とを対応させた波形メモリ回路(RAM等)に順次記憶させる波形記憶手段を設けておく。

【0056】このようにしておけば、記憶された波形デー

(9)

特開平8-288197

15

タを読み出すだけで、各信号 I_{m1} 、 I_{m2} の振幅値や信号波形上の基準点となるボトムやピークの座標位置がただちに求められる。ところで、先に述べた関数または変換演算式 $F(I_{m1})$ 、 $F(I_{m2})$ は各信号 I_{m1} 、 I_{m2} が正弦波状であることから、正弦関数または余弦関数を使う。一例として、先に述べた信号 I_{m1} のピークレベルを E_{p1} 、ボトムレベルを E_{b1} とし、検出すべき位置における

$$\Delta X1 = P_{mq} \cdot \phi1 / 4\pi$$

同様に信号 I_{m2} を使った基準点からのずれ量 $\Delta X2$ も算出され、これらのずれ量 $\Delta X1$ 、 $\Delta X2$ のデータは加重平均演算を行う回路ユニット CU5 に送られ、先に※

$$\Delta X = (C1 \cdot \Delta X1 + C2 \cdot \Delta X2) / (C1 + C2) \quad (4)$$

この演算で求められたずれ量 ΔX が最終的に求めるべき格子 MG の格子 RG に対する位置ずれ量である。

【0058】この演算式から明らかなように、ずれ量 ΔX は干渉ビーム BM 中の強度が高い方の波長成分の干渉ビームを使った位置ずれ量の計測結果の方により多くの重みをかけるようにして決定される。以上のように本実施例では2つの異なる波長成分のビーム LB1、LB2 を使って各格子 RG、MG を照射し、受光すべき干渉ビーム BM も波長別に光電検出し、各波長毎の干渉ビーム Bm1、Bm2 を使って個別に位置ずれ検出した結果を、波長毎の受光光の振幅に応じて加重平均するようにしたので、より信頼性の高い位置検出結果が得られる。

【0059】以上の図5に示した信号処理系（回路ユニット CU1 ~ CU5）のアルゴリズムは、以降で説明する他の実施例においても共通したものであり、各回路ユニットの機能を実現するにあたって格別に変更、改良があるときは、その都度説明する。また図5に示した光学配置で、格子 RG をマスク上の格子マークとし、格子 MG をウェハ上のマークとし、結像系 G1、G2 をマスクパターンのウェハへの投影レンズとすれば、投影露光装置でのアライメント装置が実現できる。

【0060】図7は第2の実施例による概略的な構成を示し、図5中の部材やビーム等と同一機能のものには同じ符号を付けてある。この第2の実施例では、照明用の2つのビーム LB1、LB2 をレンズ系 G4 を介して結像光学系（G1、G2）の端面の中央に配置されたミラー MR2 に入射させ、このミラー MR2 で下へ曲げられたビーム LB1、LB2 を時分割的に切り換えて後群レンズ系 G2 を介して平行光束にして格子 MG に垂直に照射する。そして格子 MG で回折した波長 $\lambda1$ の1次回折ビーム $\pm D11$ または波長 $\lambda2$ の1次回折ビーム $\pm D12$ をレンズ系 G1、G2 を通して格子 RG 上で交差（結像）させる。格子 RG は透過型なので、1次回折ビーム $\pm D11$ または $\pm D12$ の照射によって格子 RG から発生した再回折光のうちの1次回折光は格子 RG から垂直な方向に結像光学系と反対側に進み、ミラー MR3、アライメント対物レンズ G5、及び空間フィルタ 28 を介して干渉ビーム BM（波長 $\lambda1$ の干渉ビーム Bm1 と波長 $\lambda2$ の干渉ビーム Bm2 のいずれか一方）となつて光電素子 DT0 で受光される。その他の構成（光電素子 DT1、回路ユニット CU1、CU2、CU3、CU4、CU5）は図5と同じである。

* 信号 I_{m1} のレベルを $e1$ とすると、 $(E_{p1} + E_{b1}) / 2 + \{ (E_{p1} - E_{b1}) \sin \phi1 \} / 2 = e1$ を満たす $\phi1$ を求め、これをピッチ P_{mq} の値を使った以下の交換式に代入すれば、基準点からのずれ量 $\Delta X1$ がわかる。

【0057】

(3)

※求めた比 $C1$ 、 $C2$ を重み係数として以下の演算を行う。

2 の干渉ビーム Bm2 のいずれか一方）となつて光電素子 DT0 で受光される。その他の構成（光電素子 DT1、回路ユニット CU1、CU2、CU3、CU4、CU5）は図5と同じである。

【0061】こうして光電素子 DT0 は、主照明ビーム LB1、LB2 の時分割的な切り換えに応じて光電信号 I_{m1} 、 I_{m2} のいずれか一方を出力する。本実施例はビームの透光と受光との関係を図5のものと逆にした構成であるが、この構成は格子 MG を半導体ウェハに形成し、格子 RG をレチクル（マスク）に形成し、そしてレンズ系 G1、G2 をレチクルパターンの投影露光用の縮小投影レンズにした（F）特開平3-3224号公報の装置に適用できる。ただし、公報（F）に開示された装置では、投影レンズの端面 EP に1次回折ビーム $\pm D11$ 、 $\pm D12$ を微少量だけ屈折させる小レンズを設け、投影レンズで発生する色収差を補正しているが、図7の実施例を適用するときは、互いに波長の異なる2組の1次回折ビーム $\pm D11$ 、 $\pm D12$ の夫々に対して最適な補正が成されるような小レンズ（例えば色分散の大きいフリント系の結核や非球面レンズ）を設ける必要がある。

【0062】以上、第2の実施例では主照明ビーム LB1、LB2 を例えばウェハ上の格子マーク MG に直接入射するように構成したので、格子マーク MG から発生する1次回折ビーム $\pm D11$ 、 $\pm D12$ の各強度を、図5中の格子 MG から発生する回折ビーム（干渉ビーム BM）の強度よりも総じて高めることができる。次に本発明の第3の実施例を図8、図9、図10を参照して説明する。

が、ここではホモダイン方式に代わってヘテロダイン方式を用いる。図8において3つのレーザ光源 LS1、LS2、LS3 はそれぞれ異なる波長 $\lambda1$ 、 $\lambda2$ 、 $\lambda3$ のレーザビーム LB1、LB2、LB3 を射出する。一例として、レーザ光源 LS1 は $\lambda1 = 0.635 \mu\text{m}$ の半導体レーザ光源、光源 LS2 は $\lambda2 = 0.690 \mu\text{m}$ の半導体レーザ光源、光源 LS3 は $\lambda3 = 0.760 \mu\text{m}$ の半導体レーザ光源に設定される。

【0063】これらのレーザ光源 LS1、LS2、LS3 の各々には、安定化された駆動電流を供給する駆動回路、レーザ素子の温度変化による影響を補償する補償回

(10)

特開平8-288197

17

路、或いは発振中心波長の変動をモニターして波長が安定するように駆動電流をフィードバック制御する帰還制御回路等を含むレーザ電源部が設けられている。そしてこれらのレーザ電源部は、それぞれ切り換え制御回路TSCからのシーケンシャルな信号CS1、CS2、CS3にตอบสนองして各レーザ光源LS1、LS2、LS3からのレーザビームの放射がOn-Offされるように制御する。

【0064】本実施例では、レーザ光源LS1、LS2、LS3からのレーザビームの放射が所定の照射時間ずつ順番に切り替わるように、後で詳述する図10中の制御器62からのコマンド信号CQにตอบสนองして切り換え制御回路TSCをプログラムできるようにしている。従ってある任意の時刻においてレーザビームを発振している光源は3つのレーザ光源LS1、LS2、LS3のうちの1つに限られる。尚、切り換え制御回路TSCは、コマンド信号CQの内容に応じて各光源LS1、LS2、LS3のビーム発振タイミングを何通りかに変えることもできる。

【0065】これら3本のビームLB1、LB2、LB3は直交ミラーMRa、ダイクロイックミラーDCM4、DCM5を介して同軸の光路を通るようにアライメントされて、その3本のビームのうちのいずれか1本がビームLB0としてミラーMRbで反射されて回転ラジアル格子板RRGに垂直に入射する。この回転ラジアル格子板RRGは一方に等角速度で回転軸C0の回りに高速回転しており、回転ラジアル格子板RRGによって回折される各次数の回折光の周波数を角速度に応じて増減させる周波数シフターとして作用する。

【0066】図9は回転ラジアル格子板RRGの拡大斜視図であり、ここでは回転軸C0をXYZ座標系のZ軸と平行に設定し、円形の格子板RRGには円周上に透過型の位相回折格子RGが360度に渡って形成されている。ビームLB0が格子板RRGの格子RGに垂直に入射すると、0次光D0以外に各極の回折光が発生する。本実施例では±1次回折光を用いてヘテロダイン方式を實現するので、図8、図9では格子板RRGからの±1次回折光のみを示してある。

【0067】さて、先の図5で示したのと同様に格子板RRGの格子RGからは、波長λ1のビームLB1の照射時に作られる1次回折ビーム±D11、波長λ2のビームLB2の照射時に作られる1次回折ビーム±D12、または波長λ3のビームLB3の照射時に作られる1次回折ビーム±D13のいずれか1組が、切り換え制御回路TSCのシーケンシャルな駆動にตอบสนองして発生する。各波長毎の1次回折ビーム±D1nの回折角θnは以下のように表される。

$$\sin \theta_n = \lambda_n / P_{RG}$$

ここでnは波長の数を表し、P_{RG}は格子RGのピッチを表す。さらに1次回折ビーム±D1nは波長によらず一定の周波数偏移Δfを受け、格子板RRGの格子RGがビ

18

ームLB0を横切る速度をVとすると、 $\Delta f = V / P_{RG}$ で表される。そして+1次回折ビーム±D1nは0次光D0の周波数に対してΔfだけ高くなり、-1次回折ビーム-D1nは0次光D0の周波数に対してΔfだけ低くなる。このため回転格子板RRGは周波数シフターとして作用する。

【0069】さて、3つの波長成分の1次回折ビーム±D1n (n=1, 2, 3)のうちのいずれか1組からなる送光ビーム±LFと0次光D0は、図8に示すようにコリメータレンズ10により主光線が互いに平行になるように変換され、光束選択部12に送る。この光束選択部12は、いわゆるフーリエ変換面に置かれる空間フィルターとして機能し、ここでは0次光D0が遮断され、1次回折光±D1nによる送光ビーム±LFが通過する。その後、送光ビーム±LFは傾斜角が可変な平行平板ガラスで構成された調整光学系14、16、18を介してビームスプリッタ(ハーフミラー)20に送る。調整光学系14は送光ビーム±LFと送光ビーム-LFとのフーリエ空間での間隔を変えることなく、レンズ10の光軸に対して偏心させる機能を有し、調整光学系16、18は送光ビーム±LFと送光ビーム-LFとの夫々の光軸に対する位置を個別に調整する機能を有する。

【0070】その送光ビーム±LFはビームスプリッタ20で2つに分割され、一方は対物レンズ22に入射し、他方は平行平板ガラスで構成される調整光学系24A、24Bを介して集光レンズ(フーリエ変換レンズ)26に入射する。一方対物レンズ22に入射した送光ビーム±LFは、それぞれ平行光束となって互に対称的な入射角でウエハW上の格子MGを同時に照射する。これによって格子MG上には、波長λ1の送光ビーム±D11の干渉によって作られた干渉縞、波長λ2の送光ビーム±D12の干渉によって作られた干渉縞、及び波長λ3の送光ビーム±D13によって作られた干渉縞のいずれか1つが現れる。これらの各波長毎の干渉縞は、仮に3本のビームLB1、LB2、LB3が同時に回転ラジアル格子板RRGを照射したとすると、同一ピッチ、同一位相で重畳して現れる。

【0071】さらに送光ビーム±LFと-LFとの間の周波数差 $2 \cdot \Delta f$ のため、その干渉縞は格子MG上を一方に等速度で移動しているように観測される。その移動速度は、回転ラジアル格子板RRGの格子RGの速度Vに比例している。また周波数差 $2 \cdot \Delta f$ と関連して、切り換え制御回路TSCによる3つの光源LS1、LS2、LS3の各々の点灯時間は周波数差 $2 \cdot \Delta f$ (ビート周波数)の周期よりも十分長く、例えば100倍程度以上に設定される。例えば周波数差 $2 \cdot \Delta f$ が10KHz(周期0.1mS)であるとすると、3つの光源LS1、LS2、LS3の各々の点灯時間は10mS以上が望ましい。

(11)

特開平8-288197

19

【0072】なお、図8から明らかなように、ウエハW表面（格子MG）とラジアル格子板RRGとは、コリメータレンズ10と対物レンズ22との合成系によって互いに共役（結像関係）になるように配置されている。そのためラジアル格子板RRGの格子RGの±1次回折光による回折像が、ウエハWの格子MG上に形成されるが、0次光D0が遮へいされているため格子RGのピッチの1/2の回折像（干渉縞強度分布）が形成される。そして、その干渉縞のウエハW上のピッチPifは先の実施例と同様に格子MGのピッチPmqの1/2に設定されている。

【0073】以上のような関係を満たすとき、送光ビーム±LFの照射によって格子MGから1次回折光が垂直に発生する。すなわち送光ビーム±LFの照射によって垂直に発生した1次回折光と、送光ビーム±LFの照射によって垂直に発生した1次回折光とが干渉した干渉ビームBM（波長λ1の干渉ビームBm1、波長λ2の干渉ビームBm2、波長λ3の干渉ビームBm3のいずれか1つ）が発生する。この干渉ビームBMは周波数2Δfで強度変調されたビート光となっている。

【0074】このように、±1次回折光（干渉ビームBM）を同一方向に発生させるために、別の見方をすれば対物レンズ22の焦点距離をFoとして各波長毎の送光ビーム±LFのフーリエ変換面上での光軸からの間隔D Lnを、 $D Ln = Fo \cdot \sin \theta n = \pm Fo \cdot \lambda n / Pmq$ (n = 1, 2, 3)

に設定すればよい。このような各波長毎の間隔D Lnの設定は、回転ラジアル格子板RRGの格子RGのピッチやコリメータレンズ10の焦点距離を適当に定めることで調整可能である。

【0075】またウエハW上に形成される干渉縞はラジアル格子板RRGの格子RGの回折像として結像されているため、原理的には3つの波長λ1、λ2、λ3のうちの1つの波長成分による干渉縞のピッチとウエハWの格子マークMGのピッチとが整数倍の関係になっていれば、他の波長成分による干渉縞のピッチも自ずとその関係になっている筈であり、さらに各波長成分毎の干渉縞も光源からのビームLB1、LB2、LB3が同時に照射されると完全に合致して相互に位相ずれ、位置ずれを起こしていない筈である。

【0076】しかしながら、実際には対物レンズ22、コリメータレンズ10等の光学系の色収差の程度に応じて、各波長成分毎の干渉縞は相互に位置ずれ、位相ずれ、及びピッチずれを起こしてしまう。そこでこのようなずれを補正するために、図8中の調整光学系14、16、18を用いる。これらの光学系14、16、18は平行平板ガラスで構成され、その材料として色分散の大きいものを用いると、各波長成分毎にウエハW上に形成される干渉縞の相互の位置ずれや位相ずれを微小に変化

20

させることができる。あるいは調整光学系14、16、18として、色分散の小さい平行平板ガラス（例えば、14）と色分散の大きい平行平板ガラス（例えば16、18）とを組み合わせ、色分散の大きい平行平板ガラスの傾き調整で各波長成分毎の干渉縞の相互の関係を補正し、その補正によって生じる送光ビーム±LFのウエハ上での全体的な傾き誤差（テレンセン誤差）に関しては、色分散の小さい平行平板ガラスの傾き調整で補正することができる。

10 【0077】さて、以上のような干渉縞の照射によって格子MGから垂直に発生した干渉ビームBMは、対物レンズ22、ビームスプリッタ20を通過して空間フィルタ28に達する。この空間フィルタ28は対物レンズ22に関するフーリエ変換面、またはその近傍に配置され、本実施例では干渉ビームBM（±1次回折光）のみを透過させる開口を有している。そして空間フィルタ28を透過した干渉ビームBMはレンズ系（フーリエ変換レンズ）30で平行光束に変換された後、ミラー32で反射されて光電素子DT0に受光される。

20 【0078】この光電素子DT0は、先の図5、7中の光電素子DT0と同じ機能を有し、ただ受光すべき干渉ビームBm1、Bm2、Bm3の夫々がビート周波数2・Δfで強度変調されている点で異なるだけである。従って光電素子DT0から出力される光電信号Im0は、格子マークMGからの干渉ビームBMが存在する間、すなわち3つの光源LS1、LS2、LS3のどれかがビームを照射している間、いずれもビート周波数2Δfと同じ周波数で正弦波状にレベル変化する波形となる。

30 【0079】一方、ビームスプリッタ20を透過して平行平板ガラス等で構成される調整光学系24A、24Bを介して集光レンズ26に入射した送光ビーム±LF（1次ビーム±D11、±D12、±D13のいずれか1組）は、透過型の参照格子SG上に重畳して照射される。ここでも参照格子SGはコリメータレンズ10と集光レンズ26との合成系に関して回転ラジアル格子板RRGと共役配置される。このため参照格子SG上にも送光ビーム±LFの2光束干渉による1次元の干渉縞が形成され、それはビート周波数2Δfに対応した速度で移動する。

40 【0080】尚、調整光学系24A、24Bは、各波長成分毎に参照格子SG上に生成される干渉縞が集光レンズ26の色収差のために相互に位置ずれやピッチずれを生じないように補償するものである。そこで参照格子SGのピッチとその干渉縞のピッチとを適当に定めると、参照格子SGから発生した±1次回折光が同一方向に干渉ビームBmsとなって進み、それは空間フィルタ38を透過して光電素子40に受光される。この光電素子40の光電信号Im0は、ビート周波数2・Δfと同じ周波数で正弦波状にレベル変化する波形となり、その信号Im0がヘテロダイン方式の基準信号となる。

(12)

特開平8-288197

21

【0081】以上の構成で参照格子SGは、ガラス板上にクロム層を蒸着し、そのクロム層を透明ラインと遮光ラインとが交互に形成されるようにエッチングして作られているため、少なくともウエハW上の格子マークMGのような非対称性、レジスト層の問題がないほぼ理想的な格子、すなわち振幅透過率が対称的な格子として作られる。

【0082】このため参照格子SGに照射される一対の送光ビームは3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 のうちいずれか1つの波長に対応した送光ビームだけでも十分な精度が得られる。このように参照格子SG上に順次各波長毎の干渉縞を形成し、この参照格子SGから発生する干渉ビームBmsを各波長毎に時分割で光電検出するように構成すると、波長 λ_1 に応じた基準信号、波長 λ_2 に応じた基準信号、及び波長 λ_3 に応じた基準信号が個別に得られるため、波長毎に格子マークMGの位置計測が可能となる。さらにウエハW上に形成される3つの波長成分毎の干渉縞が相互に一定の位置ずれ（位相ずれ）を起こしていても、それを予めオフセット量として計測しておくことも可能となる。そのことについては後で詳しく述べる。

【0083】ところで、図8に示したウエハWは対物レンズ22の光軸と垂直な面（XY平面）内で2次元移動するウエハステージWST上に載置される。このステージWST上の2次元移動は駆動モータを含む駆動源42によって行われ、モータによって送りネジを回転させる方式、又はリニアモータによってステージ本体を直接運動させる方式のいずれでもよい。さらにステージWSTの座標位置はレーザ干渉計44によって逐次計測される。このレーザ干渉計44の計測値は駆動源42のフィードバック制御に使われる。

【0084】さらにウエハステージWSTの一部には、フィジューシャル（基準）マーク板FGが設けられている。この基準マーク板FGには石英ガラスの表面にクロム層でライン・アンド・スペースをパターンニングした反射型の強度格子（ピッチはウエハ上の格子MGと同一）が形成されている。このため強度格子は、ウエハW上に凹凸で形成された格子マークMGのような位相格子と異なり、非対称性がなく回折効率が照明光（又は検出光）の波長に依存しないという特徴、すなわち振幅反射率に非対称性がないという特徴を有する。さらにクロム層の反射率も位置検出用の照明光の波長帯（一般には0.5～0.8 μ m）では殆ど変化しない。このため、基準マーク板FG上の強度格子を用いると、各波長毎に得られる光電素子DT0の光電信号Im1、Im2、Im3の各振幅の変化や相互の比を正確に求めることができる。

【0085】以上の図8の構成において、光源として半導体レーザを用いるが、この場合半導体レーザLS1、LS2、LS3と各ダイクロイックミラーDCM4、DCM5との間に非点収差除去用の整形光学系（傾斜した

22

複数枚の平行平板ガラス等）を設け、回転ラジアル格子板RRGに入射するビームLB0の各波長毎の光束成分をほぼ等しい径にするのが好ましい。またそれ以外の場合にも、共軸化されたビームLB0の径を各波長成分毎に揃えるようなビーム整形光学系を設けるのが望ましい。

【0086】また図8では説明を簡単にするために周波数シフターとして回転ラジアル格子板RRGを用いたが、その他に2つの音響光学変調器（AOM）を用いたり、中心波長 λ_1 で発振する第1のゼーマンレーザ光源と中心波長 λ_2 で発振する第2のゼーマンレーザ光源とを光源として用いてもよい。ただし、ゼーマンレーザの場合、一般的には偏光方向が相補的な2つのレーザビームを発振し、そのビーム間に数百キロHz～数メガHzの周波数差を与えているため、光電検出する干渉ビームのビート周波数もそれなりに高くなり、光電素子DT0、40等は応答性の高いPINダイオードやフォトマル等を使うことになる。

【0087】また図8に示した各種ダイクロイックミラーはプリズム等の分散素子に置き換えてもよい。この場合、1個のプリズムは2つのダイクロイックミラーDCM4、DCM5の組と同じ機能を有する。次に図8の装置に好適な位置検出、位置制御回路の一例を図10を参照して説明する。図8のヘテロダイン方式の場合、ウエハW上の格子マークMG、又は基準マーク板FGから干渉ビームBMが発生している間、光電素子DT0からの各波長毎の信号Im1、Im2、Im3と、光電素子40からのIm5は図11に示すような正弦波状の交流波形となる。

【0088】ただし、図11の信号Im1、Im2、Im3は図8中の切り換え制御回路TSCからの信号CS1、CS2、CS3にตอบสนองしてレーザ光源LS1、LS2、LS3の各々が点灯しているときの信号である。また参照信号Im5もレーザ光源LS1、LS2、LS3の点灯切り換えにตอบสนองして各波長毎に別々に（時分割に）出力されるものであるが、図11では1つの信号波形で代表して示してある。

【0089】図11（D）は基準信号となる信号Im5の時間的な強度変化を表し、図11（A）、（B）、（C）はそれぞれウエハW上の格子マークMGからの干渉ビームBMを各波長毎に時分割的に受光したときの信号Im1、Im2、Im3の時間的な強度変化の一例を示す。ここで信号Im5の位相を基準にすると、信号Im1の位相は信号Im5に対して $-\pi/4$ だけずれ、信号Im2の位相は信号Im5に対して $-\pi/2$ だけずれ、そして信号Im3は信号Im5に対して $+\pi/4$ だけずれているものとす。また、信号Im1の振幅（交流成分のピークtoピーク）はE1、信号Im2の振幅はE2、信号Im3の振幅はE3とする。

【0090】さて、図10に示された回路ブロックにお

(13)

特開平 8-288197

23

いて、光電素子DT0からの光電信号Imnと光電素子40からの光電信号Imはアナログ-デジタル変換(A/Dコンバータ)回路ユニット50に入力され、ここでサンプリングクロック発生回路52からのクロック信号(パルス)Cpsに忠実に各信号のその瞬間の強度レベルがデジタル値に変換される。

【0091】そのクロック発生回路52は、後で説明する位置制御器62から出力されて、図8中の切り換え制御回路TSCに送信される指令信号CQに忠実にクロック信号Cpsの送出タイミングを制御している。そのタイミングは、例えば切り換え制御回路TSCが信号Csn(n=1, 2, 3)を出力して3つの光源LSn(n=1, 2, 3)のいずれかを点灯させている間は常にクロック信号Cpsを出力するように定められている。

【0092】クロック信号Cpsの周波数は信号Imn(n=1, 2, 3)、Imのビート周波数(2・Δf)よりも十分に高く定められ、そのクロック信号Cpsは波形メモリ回路ユニット54にも送られ、A/Dコンバータ50からのデジタル値(データ)を記憶する際のメモリアドレスの更新に使われる。このとき波形メモリ回路ユニット54は、指令信号CQに忠実に光電信号Imn、Imの各デジタル波形データの記憶領域(アドレス領域)を、点灯された各光源に対応するように切り換える。例えば、メモリ回路ユニット54の波形データ記憶空間として8Kバイト単位の6つのRAM領域M1A、M1B、M2A、M2B、M3A、M3Bを確保する。そして、波長λ1の光源LS1が点灯している間にA/Dコンバータ50から出力される信号Imn(Im1)のデジタル波形データは、クロック信号Cpsに忠実にRAM領域M1A内に順次記憶させ、同時にA/Dコンバータ50から出力される信号Imのデジタル波形データは、クロック信号Cpsに忠実にRAM領域M1B内に順次記憶させる。

【0093】さらに指令信号CQに忠実に光源LS2が点灯しているときは、信号Imn(Im2)のデジタル波形データをRAM領域M2A内に順次記憶させるとともに、同時に信号Imのデジタル波形データをRAM領域M2B内に順次記憶させ、そして光源LS3が点灯しているときは、信号Imn(Im3)のデジタル波形データをRAM領域M3A内に順次記憶させるとともに、同時に信号Imのデジタル波形データをRAM領域M3B内に順次記憶させるように切り換える。

【0094】従って波形メモリ回路ユニット54内の3つのRAM領域MnA(n=1, 2, 3)の各々には、図11(A)、(B)、(C)のような信号Imn(n=1, 2, 3)の波形データが所定周期分(例えば、10周期分以上)に渡ってデジタルサンプリングされ、メモリ回路ユニット54内の3つのRAM領域MnB(n=1, 2, 3)の各々には、図11(D)のような信号Imの波形データが、信号Imnと同じ周期分に渡ってデジタルサンプリングされる。

24

【0095】このとき、波形メモリ回路ユニット54内の3つの計測信号Imnの各波形データは時間軸上では互いに異なるタイミングのものとなるが、3つの計測信号Imnの各々と参照信号Imとは共通のクロック信号Cpsによって同時にサンプリングされるので、参照信号Imの波形データを基準として3つの計測信号Imnの各波形データの位相差Δφ1、Δφ2、Δφ3を求めると、各波長λ1、λ2、λ3毎の格子マークMGの位置ずれ量が正確にわかることになる。

10 【0096】尚、回転ラジアル格子板RRGを用いた場合、ビート周波数は数KHz程度が上限であるため、クロック信号Cpsも十数KHz程度でよい。また(F)特開平6-82215号公報のように2個の音響光学変調器(AOM)をタンデムに配置した周波数シフターを用いる場合、ビート周波数は各AOMに加える高周波駆動信号(数十MHz以上)の周波数の差の2倍で決まるので比較的自由に定めることができる。

【0097】さて、図10に示したメモリ回路ユニット54内の各波形データは、位相差Δφn(n=1, 2, 3)、位置ずれΔXn(n=1, 2, 3)の検出回路ユニット56に読み込まれ、ここで図11に示したような各位相差Δφ1、Δφ2、Δφ3がデジタル演算(フーリエ積分法)により算出される。先に仮定したようにウエハWの格子マークMGのピッチPmqと、この上に照射される干渉縞のピッチPifとがPmq=2Pifに設定されていると、図11の各波形の1周期はPmq/2に対応している。

【0098】また一般に位相差計測は±180度の範囲で行われるので、検出回路56は演算された位相差Δφ1、Δφ2、Δφ3を、先の式(3)に従って±Pmq/4の範囲内の位置ずれ量ΔX1、ΔX2、ΔX3に変換する。このずれ量ΔXnは参照格子SGに対する格子マークMGの±Pmq/4内でのずれを表す。ここで位相差計測の分解能として0.2度程度が得られるものとする、ずれ量の分解能はほぼ(0.2/180)Pmq/4となり、ピッチPmqを4μmにすると実用的な範囲として0.002μm(2nm)程度が得られる。

【0099】一方、信号振幅、及び振幅比検出回路ユニット58は、波形メモリ回路ユニット54内の3つのRAM領域MnA(n=1, 2, 3)に記憶された図11のような各波形データを読み出し、各信号Imnの振幅値E1、E2、E3をデジタル演算によって検出する。尚、この検出回路ユニット58には、予めフィジューシャルマーク板FGの格子から発生した干渉ビームBMを各光電素子DT0で受光したときに得られる光電信号Im1、Im2、Im3の各々の振幅値A1、A2、A3が記憶されている。

【0100】すなわち、ウエハW上の格子マークMGを計測する前にフィジューシャルマーク板FGの格子マークを対物レンズ22の下に移動させ、光電素子DT0か

59

(14)

特開平8-288197

25

ら図11(A)、(B)、(C)のような信号を発生させ、それを波形メモリ回路ユニット54に記憶させた後、振幅検出回路58で振幅値A1、A2、A3を検出して記憶させておく。

【0101】この際、マーク板FGが検出されるステージWSTの静止位置をレーザ干渉計44から読み取って記憶するとともに、ずれ量検出回路ユニット56で各波長毎の位置ずれ量 ΔX_{b1} 、 ΔX_{b2} 、 ΔX_{b3} も求めておけば、それをベースライン決定時のデータとして利用することができる。尚、ここで言うベースラインとは、各波長毎に計測されたマーク板FG上の格子マークの位置ずれ量 ΔX_{b1} 、 ΔX_{b2} 、 ΔX_{b3} が極めて微小量だけ相互に異なっているときに、その相互の微小誤差分を意味する。本来、図8に示した送光系では波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の各ビームによってフィデュシャルマーク板FG上に生成される各波長毎の干渉縞が厳密に一致していれば、マーク板FGの位置ずれ量 ΔX_{b1} 、 ΔX_{b2} 、 ΔX_{b3} の各値は完全に一致するはずである。

【0102】しかしながら現実問題として、分解能が2nm程度にもなると、その分解能程度に位置ずれ量 ΔX_{b1} 、 ΔX_{b2} 、 ΔX_{b3} が揃うように送光系や検出系を調整しておくことは難しい。そのため、マーク板FGで計測された位置ずれ量 ΔX_{b1} 、 ΔX_{b2} 、 ΔX_{b3} の相互差が図8に示したアライメント系固有のオフセット（ベースライン誤差）として残存することになる。

【0103】そのベースライン誤差は、ウエハW上の格子マークMGを検出して検出回路56で求められる各波長毎の位置ずれ量 ΔX_1 、 ΔX_2 、 ΔX_3 の夫々を、先に求めた位置ずれ量 ΔX_{b1} 、 ΔX_{b2} 、 ΔX_{b3} の夫々で補正計算することで補償される。一例として、図8の装置では参照格子SGから得られる干渉ビームBmsも波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 のいずれか1つに切り替わるため、どれか1つの波長、例えば波長 λ_1 の下で計測されたフィデュシャルマーク板FGの位置ずれ量 ΔX_{b1} を基準として、 $\Delta X_{b2} - \Delta X_{b1} = \Delta X_{b21}$ 、 $\Delta X_{b3} - \Delta X_{b1} = \Delta X_{b31}$ の各値を計算して記憶しておく。

【0104】そしてウエハW上の格子マークMGについて計測された位置ずれ量 ΔX_1 、 ΔX_2 、 ΔX_3 に対して、 $\Delta X_2 - \Delta X_1 = \Delta X_{21}$ になるように ΔX_2 の値を補正計算し、 $\Delta X_3 - \Delta X_1 = \Delta X_{31}$ になるように ΔX_3 の値を補正計算すればよい。あるいは、より簡潔な方法として、干渉ビームBmsの各波長毎の切り換えに応じて求められるフィデュシャルマーク板FGの位置ずれ量 ΔX_{b1} 、 ΔX_{b2} 、 ΔX_{b3} を記憶し、計測されたウエハ上の格子マークMGの位置ずれ量 ΔX_1 、 ΔX_2 、 ΔX_3 を、 $\Delta X_1 - \Delta X_{b1}$ 、 $\Delta X_2 - \Delta X_{b2}$ 、 $\Delta X_3 - \Delta X_{b3}$ のように補正計算してもよい。

【0105】さらに振幅比検出回路ユニット58は、予め記憶してある振幅値A1、A2、A3とウエハW上の格子マークMGを検出したときに得られる振幅値E1、

26

E2、E3との各比C1、C2、C3を、 $C1 = E1 / A1$ 、 $C2 = E2 / A2$ 、 $C3 = E3 / A3$ として算出する。この比C1、C2、C3は、先の図5の実施例で説明した重み係数に相当する。

【0106】以上のようにして求められた位置ずれ量 ΔX_1 、 ΔX_2 、 ΔX_3 と比C1、C2、C3のデータは、加重平均化演算回路ユニット60に送られ、ここで重みを加えた格子マークMGのずれ量 ΔX を算出する。その演算は次式によって行われる。

10 $\Delta X = (C1 \cdot \Delta X_1 + C2 \cdot \Delta X_2 + C3 \cdot \Delta X_3) / (C1 + C2 + C3)$ 10
こうして求められたずれ量 ΔX は、参照格子SGに対する格子マークMGのピッチ方向のずれであり、そのデータは位置制御、表示器62に送られるとともに、ウエハWをリアルタイムにアライメント（位置決め）する場合にはサーボ制御回路ユニット64にも送られる。

【0107】このサーボ制御回路ユニット64は2つの機能を有しており、その1つはずれ量 ΔX が所定の値になるまで駆動源42をフィードバック制御する機能（ダイレクトサーボモード）である。この機能の場合は、A/Dコンバータ回路50、メモリ回路ユニット54、ずれ量検出回路ユニット56、及び平均化回路ユニット60の動作が、位置制御器62からの指令信号CQにตอบสนองして逐次繰り返され、極めて短い時間（例えば数msec）毎にずれ量 ΔX の値が算出される。

【0108】なお、振幅比検出回路ユニット58による比C1、C2、C3の算出は初めの1回だけでもよいし、ずれ量 ΔX の算出の度に毎回行ってもよい。比C1、C2、C3の算出を毎回行う場合は、加重平均化回路ユニット60によるずれ量 ΔX の算出毎に比C1、C2、C3の値が若干変化することがあることは言うまでもない。また比C1、C2、C3の算出を初めの1回又は複数回だけにすることは、それ以降同じ格子マークMGを検出する間は同じ比の値が使われる。

【0109】一方サーボ制御回路ユニット64のもう1つの機能は、ウエハステージWSTをレーザ干渉計44の計測値に基づいて移動させる機能（干渉計サーボモード）である。この機能は、例えばステージWST上のフィデュシャルマーク板FGの格子やウエハW上の格子マークMGを対物レンズ22の直下に位置決めしたり、検出された格子マークMGの位置を基準としてウエハW上の任意の点を対物レンズ22の直下に位置決めしたりするときに使われる。

【0110】この干渉計サーボモードの場合、位置制御器62からウエハステージWSTの目標位置情報がサーボ制御回路ユニット64に出力され、制御回路ユニット64はレーザ干渉計44から読み取ったステージWSTの現在位置と目標位置との偏差が所定の許容範囲（例えば $\pm 0.04 \mu m$ ）に入るように駆動源42をフィードバック制御する。

(15)

特開平8-288197

27

【0111】なお、干渉計サーボモードに続いてダイレクトサーボモードを実行する場合、ダイレクトモードによるサーボ可能範囲は格子マークMGのピッチ P_{mg} に対して $\pm P_{mg}/4$ である。もしそれ以上にずれていると、格子マークMGの1ピッチの半分のオフセットが生じたまま位置決めされてしまうからである。そこで、干渉計サーボモードのときのステージWSTの位置決め許容範囲を定常的に $\pm 0.04\mu m$ にするのではなく、格子マークMG（又はフィデューシャルマーク板FG）を検出するときだけ、許容範囲を $\pm (P_{mg}/4) - \alpha$ に切り換えるようにしてもよい。

【0112】例えばピッチ P_{mg} が $4\mu m$ のとき、その許容範囲を $\pm 0.5\mu m$ 程度にすると、通常の許容範囲（ $\pm 0.04\mu m$ ）よりもはるかにゆるい精度で位置決めサーボが可能なので、追い込み時間が短縮されることになる。そして、そのゆるい許容範囲（ $\pm 0.5\mu m$ ）に入ったらただちにダイレクトサーボモードに切り換えることで、高速で高精度な位置決め（位置合わせ）が可能となる。

【0113】さて、位置制御、表示器62は上述の指令信号CQの出力、サーボモードの切り換え指示の他に、格子マークMGの座標位置や求められたずれ量 ΔX を表示する機能も有する。また場合によっては、格子マークMGを検出したときの重み係数となる比 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ の値も記憶、保存する。この場合、ウエハW上の多数の位置に同一の格子マークMGが形成され、それらマークMGの位置を順次検出するときに、比 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ も順次記憶しておく。ウエハW上のどの部分のマークMGに非対称性やレジスト層のむらに起因した問題があったのかを検証することができる。

【0114】そして、ウエハW上で重み係数（比 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ ）が大きく変化した部分をグラフィック表示するようにしてもよい。この際、拡散工程やエッチング工程等の熱化学プロセスを経て、レジスト層を塗布する前のウエハを図8の装置に装着して重み係数の変化を求めれば、その熱化学プロセスによるウエハ面上の影響を間接的に調べることもできる。さらにそのウエハにレジスト層を塗布して同様に重み係数の変化を求めて塗布前の重み係数の変化と比較すれば、レジスト層による影響を間接的に調べることもできる。

【0115】以上の第3の実施例ではステージWST上にフィデューシャルマーク板FGを設け、これを使って各波長毎の信号振幅の変化率、すなわち比 $C1$ 、 $C2$ 、 $C3$ を求めるようにしたので、第1の実施例（図5）のように送光ビームLB1、LB2の一部のビームB_{r1}、B_{r2}の光強度を直接検出する光電素子DT1を設ける必要がない。このことは逆に、第1（又は第2）の実施例においても基準となるフィデューシャルマーク板FGを格子MGと並置すれば、光電素子DT1を設けることなく比 $C1$ 、 $C2$ を検出できることを意味する。

28

【0116】ところでウエハステージWST上に既知の反射率のクロム表面をもったフィデューシャルマーク板FGを固定した場合は、先にも触れたようにそのマーク板FGを各種ベースライン量の計測やフォーカス状態の計測に利用することができる。ベースライン量とは、基本的には投影露光装置に装着されたマスク（レチクル）の中心の投影点と各種ウエハアライメント系の検出中心点との相対的な位置関係を決定するための計測動作を意味する。

【0117】図12は本発明の第4の実施例として、ベースライン量の計測に必要な投影露光装置の概略的なアライメント系の配置を示し、レチクルRはレチクルステージRST上に吸着され、露光用照明系ILXからダイクロイックミラーDCMを介して放射される紫外線（1線、エキシマ等）によって均一に照射される。そしてレチクルRのパターン像は等倍、又は縮小のテレセントリックな投影光学系PLを介してウエハW上のショット領域に投影露光されるように構成される。

【0118】図12において、ウエハステージWST上のフィデューシャルマーク板FGの表面には、スルーザレチクル（TTR）方式のアライメント系TTRAによって検出可能なマーク群と、レチクルアライメント系RAによって検出可能なマーク群と、スルーザレンズ（TL）方式のアライメント系TLAによって検出可能なマーク群と、そして投影光学系PLの外部に固定されたオフ・アクシス方式のアライメント系OFAによって検出可能なマーク群とが形成されている。

【0119】これらのマーク群は一部共通に使われるものもある。また各アライメント系RA、TTRA、TLA、OFAは、マーク検出時の基準となる直接的、または間接的な検出中心点Rf1、Rf2、Rf3、Rf4を備えている。先の図8のような位置検出装置を各アライメント系に適用した場合、検出中心点Rf1、Rf2、Rf3、Rf4は参照格子SGによって規定される。ただしレチクルアライメント系RAにおいて、レチクルRの周辺のレチクルアライメント用のマーク（格子パターン）RMとフィデューシャルマーク板FG上の対応した格子マークとを、パターンPRの投影露光用の照明光と同じ波長の照明光で照射し、両マークが所定の位置関係になるようにレチクルステージRSTを微動させるような構成になっている場合は、検出中心点Rf1を必要としない。

【0120】このことはアライメント系TTRAにおいても同様であって、フィデューシャルマーク板FG上の対応したマーク、あるいはウエハW上のマークと、レチクルRのパターンPRの周辺部に形成されたダイ・バイ・ダイ（D/D）アライメント用のマークとを画像として撮像し、両マーク像の位置ずれを検出する方式である場合は、格別に検出中心点Rf2を規定しておく必要もない。

【0121】ここで、ベースライン量とは、レチクルR

(16)

特開平8-288197

29

の中心C Crのウェハ側への投影点（ほぼ光軸AX上に一致している）と、各検出中心点R f1、R f2、R f3、R f4のウェハ側への投影点との間のX、Y方向の位置関係に他ならない。その位置関係は、フィデュシャルマーク板FGの対応したマーク群と、各検出中心点R f1～R f4の投影点との位置ずれ量を各アライメント系RA、TRA、TTLA、OFA自体で検出するとともに、そのときのウェハステージWSTの座標位置をレーザ干渉計44（図8参照）によって検出することと求めることができる。

【0122】ところで、多波長化された送光ビーム±LFを用いる場合、各波長成分の送光ビーム毎にウェハW上に生成される干渉縞は、そのピッチやピッチ方向の相対位相が僅かながら（例えば0.05μm程度）異なっていることがある。このような僅かなずれは緻密な調整作業によって理想的に等まで追い込むことも可能ではあるが、そのように労力をかけて調整したとしても、経時的なドリフトの発生を考慮するとあまり現実的ではない。そのような各波長毎のピッチずれや相対位相ずれは、先の図8のような装置の場合は回転ラジアル格子板RRGの透過型の振幅格子、あるいはAOMによる周波数シフターの場合はAOMの結晶中に屈折率の粗密の縞を繰り返して生成される透過型の位相格子の周波数倍化（frequency doubling）されたピッチ像が、異なる波長の光を使うことによる結像光学系の色収差、コマ収差、アス、非点収差等の影響でウェハW（フィデュシャルマーク板FG）上に微妙なひずみ差を伴って結像されるからである。

【0123】そこで、多波長化された干渉縞の各波長成分毎の相対位置（位相）ずれ、すなわち干渉縞の色オフセットを時々実測できるようなキャリブレーション機能（ベースラインチェック）を組み込んでおくこととよい。このとき、図12中の各アライメント系に図8のようなヘテロダイン方式の位置検出装置が組み込まれているときは、そのようなベースライン計測動作時にフィデュシャルマーク板FGの格子を検出することになるので、図8中の光電素子DT0から出力される各波長毎の信号Im1、Im2、Im3の振幅レベルA1、A2、A3を図10中の回路ユニット58内に記憶しておくことができる。

（このような機能については後で詳細に説明する。）尚、図12に示した投影光学系PL内の瞳面EPは先の図5、7に示したフォーリエ変換面Eと同等のものである。そして投影光学系PLを介してウェハステージWST上の物体（ウェハWのマーク、又はフィデュシャルマーク板FGのマーク）を検出するアライメント系RA、TRA、TTLAの夫々に設けられた対物レンズの光軸は、ウェハステージWST側では全て光軸AXとほぼ平行になるように設定される。

【0124】また、投影光学系PLのウェハ側のみならずレチクル側もテレセントリック系になっているとき

30

（図12の場合）は、各アライメント系の対物レンズの光軸はレチクル側でも投影光学系PLの光軸AXと平行になっている。そして、それら対物レンズの光軸の延長は投影光学系PLの瞳面EPの中央（光軸AXが通る部分）を通る。その瞳面EPの実効的な半径は、投影レンズPLの解像力（最小解像像幅）を左右する開口数（NA）に対応し、現在NA=0.5～0.7程度の投影レンズが開発されている。

【0125】さて図13は、図12に示したアライメント系のうちアライメント系TTLAの主要部の一例を示し、ウェハ上の格子マークMG、又はフィデュシャルマーク板FGを検出するための1対の多色化された送光ビーム±LF（図8中のビーム+LFとビーム-LFに相当）は偏正光学系CG、偏光ビームスプリッタPBS（機能としては図8中のハーフミラー20に相当）、1/4波長板QW、対物レンズOBJ（図8中の対物レンズ22に相当）、及び2枚のミラーMRを介して投影レンズPLに入射する。

【0126】この際、2枚のミラーMRの間にはウェハWの表面と共役な面FCが形成され、この面FC内で1対のビーム±LFは交差する。そのビーム±LFは投影レンズPLによってリレーされ、ウェハ上でも交差して格子マークMGを照射する。また本実施例では、偏光ビームスプリッタPBSに入射するビーム±LFを直線偏光とし、偏光ビームスプリッタPBSで効率的に反射された送光ビームは1/4波長板QWを透過するとき一方向に回転する円偏光に変換されて、対物レンズOBJ、投影レンズPLを通過してウェハ上の格子マークMGを照射する。

【0127】そして格子マークMGから垂直に発生した干渉ビームBMは、投影レンズPLの瞳面EPのほぼ中央を通り、2つのミラーMR、対物レンズOBJ、1/4波長板QWを介して偏光ビームスプリッタPBSに達する。このとき、干渉ビームBMは送光ビームの偏光方向と直交した直線偏光になっているため、偏光ビームスプリッタPBSを効率的に透過して光電素子DT0に達する。

【0128】このようなアライメント系TTLAにおいて、送光ビーム±LFが複数の波長成分（互いに30～40nm程度離れる）で時分割的に切り換えられると、投影レンズPLの色収差（軸上と倍率）の影響、又は対物レンズOBJの色収差の影響によって、ウェハ上に照射されるビーム±LFの交差領域が各波長成分毎に2方向、あるいはXY方向に微妙にずれるてくることになる。

【0129】そこで図13のように送光ビーム±LFの光路中に色収差に応じて発生する誤差を補正する補正光学系CGを設ける。この補正光学系CGは凸レンズ、凹レンズ、あるいはそれらの組み合わせレンズ、または平行平板ガラス、あるいはその平板ガラスとレンズ素子の

(17)

特開平8-288197

31

組み合わせて構成され、図8に示した調整光学系14、16、18を使用してもよい。

【0130】また、図12中のアライメント系TTTRAの場合、レチクルR上のD/Dアライメント用のマークDDMを回折格子とし、そのマークDDMと対応するウエハW上の格子マークMGとの相対位置ずれを、図8のようなヘテロダイン方式で検出するときには、(G)特開平6-302504号公報に開示されているように、投影レンズPLの端面EPに透明な平行平板状の補正板PGPを設け、この補正板PGP上で送光ビーム(±LF)や干渉ビーム(BM)が通る位置のみに位相型回折格子(補正板PGPの表面に所定ピッチで凹凸のラインをエッチングしたもの)を配置して、軸上色収差と倍率色収差の影響を低減する必要がある。

【0131】さて図14は、アライメント系TTTRAの一部の構成と補正板PGPとの配置関係の一例を表した本発明の第5の実施例を示し、図14(A)はX方向(計測方向)にピッチを有する格子マークMGを検出する場合の送光ビーム±LFと干渉ビームBMとの光路をX-Z平面でみたものであり、図14(B)は、図14(A)の光路をそれと直交したY-Z平面でみたものである。

【0132】アライメント系TTTRAの対物レンズOBJ(図8の対物レンズ22に相当する)からは2本の送光ビーム±LFが光軸AXaからわずかに偏心して射出され、ミラーMRで反射してレチクルRのパターン領域の周辺に窓RWを介して投影レンズPLに入射する。2本の送光ビーム±LFは時分割的に各波長成分毎の光に切り換えられ、X-Z平面内でみると図14(A)のように対称的な傾きで窓RWを透過し、Y-Z平面内でみると図14(B)のように、対物レンズOBJの光軸AXaに対して傾いて窓RWを透過する。その2本の送光ビーム±LFは、それぞれ投影レンズPLの端面EPに配置された補正板PGP上の2ヶ所の位相型回折格子(以下、位相格子とする)PG1、PG2を通る。このとき位相格子PG1、PG2の作用によって送光ビーム±LFの夫々は同図中の破線から実線のように所定方向に所定量だけ傾きを変えられて投影レンズPLから射出する。そして送光ビーム±LFは、X-Z平面内でみると図14(A)のようにウエハW上の格子マークMGを

対称的な入射角で照射し、Y-Z平面内では図14(B)のように格子マークMGに対してY方向に若干傾いて入射する。

【0133】これによって格子マークMGから発生した干渉ビームBMは再び投影レンズPLに入射し、端面EP上では位相格子PG1、PG2と異なる位置を通る。その位置には干渉ビームBMを図14(B)中の破線から実線のように所定方向に所定量だけ傾けるための位相格子PG3が形成され、それによって干渉ビームBMの光路は投影レンズPLを透過してレチクルRの窓RWへ

向かうように補正される。

【0134】そして窓RWを通った干渉ビームBMはミラーMR、対物レンズOBJを介して図8のような受光系へ向かう。このとき干渉ビームBMは、対物レンズOBJの光軸AXaに対してわずかに傾いた状態で窓RWを透過する。このような補正板PGPを用いる場合、送光ビーム±LFが多波長化されていると、送光ビーム±LFの各波長成分毎に補正板PGP上でX方向にわずかにずれて位置する。このため、位相格子PG1、PG2もそれに対応してX方向に大きめに形成されている。また、このような補正板PGPの使用は、図13に示したアライメント系TTLAに対しても当然に可能である。

【0135】例えば石英やホタル石を屈折レンズの材料とし、波長180〜300nmの間の紫外線(エキシマレーザ光等)を露光光とするような投影レンズ(反射鏡と屈折レンズの組み合わせでもよい)を用いた露光装置の場合、He-Neレーザや半導体レーザからのビームの波長に対する色収差は極めて大きなものとなり、図13中に示したウエハ共役面FCは投影レンズから数十cm以上離れてしまう。そこで補正板PGPを使って、送光ビーム±LFが交差するウエハ共役面FCが投影レンズに近づくように補正するのである。

【0136】以上の如く、補正板PGP上の送光用位相格子PG1、PG2には各波長毎のビーム±LF、-LFが順次切り換えられて通るが、このとき位相格子PG1、PG2の格子構造を、すべての波長成分に対して最適化することは難しい。このため位相格子PG1、PG2の格子構造はある特定の波長成分で最適化されるように設定し、送光ビーム±LFの送光路(一般的には対物レンズOBJよりも光源側)中には、各波長成分毎の送光ビームが位相格子PG1、PG2で受ける回折作用の違いで生じる方向差分や位置差分だけ予め補償されるように、調整光学部材を設けておくのがよい。

【0137】要するに、2本の送光ビーム±LFの干渉によってウエハW(又はフィジューショナルマーク板FG)の格子マークMG上に作られる干渉縞が波長成分毎に位置ずれやピッチずれを生じないように、図8中の調整光学系14、16、18、又は図13中の補正レンズCGを設け、これらを調整するのである。次に本発明の第6の実施例を以下に説明する。本実施例では図8に示した構成をベースとして、先の図3、図4で説明したように、格子マークからの±1次回折光の干渉ビームの他に、格子マークからの0次光と2次回折光の干渉ビーム(次数差2の回折光同志の干渉)も検出する構成を付加した。0次光と2次回折光との干渉ビームを単一の光電素子で光電変換し、その光電信号を用いて格子マークの位置ずれを検出する方式は試みられているが、格子マーク照明用の送光ビームを多波長化した上で0次光と2次光の干渉ビーム(多波長化されている)を単一の光電素子で受光すると、そのままでは良好な位置ずれ検出が難

(18)

特開平8-288197

33

しかった。

【0138】その大きな理由は、図15に示すように0次光と2次光の干渉ビームを例えば3つの波長成分 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 毎に光電検出して得られた光電信号IK021、IK022、IK023の波形を観察すると容易に理解できる。すなわち、3つの光電信号IK02n ($n=1, 2, 3$)の相互の位相差が、 ± 1 次回折光の干渉ビームの場合の光電信号Im (n (図11参照)の位相差に比べて総じて大きくなるためである。

【0139】このため、元来大きな位相差をもつ各波長毎の光強度の変化を単一の光電素子で受光してしまうと、各波長の強度の相殺効果によって光電信号の振幅(交流の振幅分)が極めて小さくなってしまふのである。尚、0次光と2次光の干渉ビームは、先の図3で説明したように1次回折光 $\pm D1n$ の干渉ビームBMの両側に対称的な角度で発生する。

【0140】ところで図15(A)、(B)、(C)は、図3に示された0次-2次光の干渉ビームのうち、例えば ± 1 次光の干渉ビームBMの左側に現れる干渉ビームを3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 毎に個別に光電検出したときの各光電信号IK021、IK022、IK023のヘテロダイン方式での波形を表し、図15(D)は図11(D)と同じ参照信号となる光電信号Imの波形を表す。

【0141】ただし光電信号Imは、先の図8の統括構成を想定すると、3つの波長成分 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 毎に個別に得られるものであり、光電信号IK021、IK022、IK023の各々との位相比較も個別に行われるが、図15では説明のために1つの参照信号Imと考えてまとめて示してある。一方、図16(A)、

(B)、(C)は、図3に示された0次-2次光の干渉ビームのうち、 ± 1 次光の干渉ビームBMの右側に現れる干渉ビームを3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 毎に個別に光電検出したときの各光電信号IK201、IK202、IK203のヘテロダイン方式での波形を表し、図16(D)は図15(D)と同じ光電信号Imの波形を表す。以上の図15(A)、(B)、(C)と図16(A)、(B)、(C)に示すように、各信号IK02n、IK20n ($n=1, 2, 3$)の位相ずれ $\Delta\beta 01$ 、 $\Delta\beta 02$ 、 $\Delta\beta 03$ 、 $\Delta\beta 21$ 、 $\Delta\beta 22$ 、 $\Delta\beta 23$ は波長依存性が強く、大きくばらつくとともに、同一波長については信号IK02nとIK20nとで逆方向の位相偏位傾向をもつ。

【0142】そこで本実施例の構成を図17を参照して説明する。図17は図8の構成の一部、具体的には格子マークMGからの各干渉ビームの光電検出系を変更したものであり、従って図8中の部材と同じ機能の部材には同一の符号を付けてある。図17中の送光系100は、図8に示した光源LS1、LS2、LS3、ミラーMR、ダイクロイックミラーDCM4、DCM5、周波

34

数シフターとしてのラジアル格子板RRG、レンズ10、空間フィルター12、及び調整光学系14、16、18等で構成され、1対の送光ビーム+LF、-LFを射出する。

【0143】波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 のいずれか1つに順次切り換えられる送光ビーム $\pm LF$ は、ハーフミラー20で一部が反射されて対物レンズ22に入射し、一部は参照光受光系110に入射する。参照光受光系110は図8中の調整光学系24A、24B、レンズ26、参照格子SG、及び空間フィルター38で構成され、参照光Bmsを光電素子40へ導く。さて、対物レンズ22を介してウエハW上の格子マークMGが送光ビーム $\pm LF$ によって照射されると、 ± 1 次回折光の干渉ビームBMが垂直に発生するとともに、各送光ビームの進行方向と逆方向に0次-2次光の干渉ビームBM02、BM20が発生する。その ± 1 次回折光の干渉ビームBMと0次-2次光の干渉ビームBM02、BM20は対物レンズ22、ハーフミラー20を介してミラー32で反射されて、干渉ビームBMは光電素子DT0で受光され、干渉ビームBM02、BM20はそれぞれ光電素子DT2a、DT2bで受光される。

【0144】先に説明した通り、送光ビーム $\pm LF$ の各波長成分への切り換えに応じて、干渉ビームBMは波長 λ_1 の干渉ビームBm1、波長 λ_2 の干渉ビームBm2、波長 λ_3 の干渉ビームBm3のいずれかになる。同様に0次-2次光の干渉ビームBM02、BM20も送光ビーム $\pm LF$ の波長切り換えに応じて、3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 のいずれか1つの成分になっている。

【0145】また各光電素子DT0、DT2a、DT2bが対物レンズ22のフーリエ変換面、若しくはその近傍面に配置される場合、0次-2次光の干渉ビームBM02、BM20は各波長毎に光電素子DT2a、DT2b上で横ずれして受光される。従って各光電素子DT2a、DT2bの受光面はその横ずれを見込んだ大きさとする。さらに各光電素子DT0、DT2a、DT2bの直前に空間フィルターを設けて各干渉ビームを選択する場合も、その横ずれを考慮してビーム選択用の開口部の大きさを決める必要がある。あるいは、各光電素子DT2a、DT2bのそれぞれの直前に色分散の大きい硝材によるプリズムを設け、受光面上での各波長による横ずれを低減するようにしてもよい。

【0146】以上の構成から明らかなように、本実施例では光電素子40からの光電信号Imを参照信号として、各光電素子DT0、DT2a、DT2bからの光電信号Imn、IK02n、IK20n ($n=1, 2, 3$)の各位相差を求める信号処理回路が必要となる。そのため最も簡便な回路構成の一例を図18に示す。図18は、先の図10に示された処理回路の一部を改良したものであり、ハードウェア上では図10中のA/Dコンバータ回路ユニット50を4チャンネル分のA/D変換用IC回

(19)

特開平8-288197

35

路ADCa、ADCb、ADCc、ADCdで構成し、各チャンネルに参照信号 I_{ms} 、計測信号 I_{mn} 、 $IK02n$ 、 $IK20n$ の各々を印加することで、その4つの信号をほぼ同時に、図10中のサンプリングクロック発生回路52からのパルス信号Cpsにตอบสนองしてデジタルサンプリングできるようにしたことが異なる。

【0147】また波形メモリ回路ユニット54は、本実施例では図19に示すように各A/D変換IC回路ADCa、ADCb、ADCc、ADCdからの信号波形データを同時に記憶する4チャンネル分のメモリバンクMMan、MMbn、MMcn、MMdnを備え、さらに各バンク毎に波長の数(ここでは3つ)分のメモリ領域a1~a3、b1~b3、c1~c3、d1~d3が用意されている。

【0148】さらに波形メモリ回路ユニット54は位置制御器62からの指令信号CQにตอบสนองして、送光ビーム±LFの波長切り換えと連動するように各メモリバンクMMan、MMbn、MMcn、MMdn内の書き込み可能とされるメモリ領域を順次切り換える。また12個のメモリ領域a1~a3、b1~b3、c1~c3、d1~d3の各々のアドレスカウンタは、パルス信号Cpsにตอบสนองして共通に更新されるが、同時刻に書き込みが行われるのは指令信号CQにตอบสนองした4個のメモリ領域だけである。

【0149】すなわち、送光ビーム±LFが波長 λ_1 の間は、信号 I_{mn} のデジタル波形データがメモリ領域a1に、信号 $IK02n$ のデジタル波形データがメモリ領域b1に、信号 $IK20n$ のデジタル波形データがメモリ領域c1に、そして参照信号 $I_{ms}(\lambda_1)$ のデジタル波形データがメモリ領域d1に記憶される。同様に送光ビーム±LFが波長 λ_2 の間は、信号 I_{mn} のデジタル波形データがメモリ領域a2に、信号 $IK02n$ のデジタル波形データがメモリ領域b2に、信号 $IK20n$ のデジタル波形データがメモリ領域c2に、そして参照信号 $I_{ms}(\lambda_2)$ のデジタル波形データがメモリ領域d2に記憶され、送光ビーム±LFが波長 λ_3 の間は、信号 I_{mn} のデジタル波形データがメモリ領域a3に、信号 $IK02n$ のデジタル波形データがメモリ領域b3に、信号 $IK20n$ のデジタル波形データがメモリ領域c3に、そして参照信号 $I_{ms}(\lambda_3)$ のデジタル波形データがメモリ領域d3に記憶される。

【0150】さらに図10で示した振幅検出、振幅比検出の回路58は、図18では回折状態の異なる干渉ビーム毎にグループ化された比のデータCn1、Cn2、Cn3(nは波長に対応してn=1、2、3)を出力するように変更される。この比のデータのうちCn1(n=1、2、3)は図10中の比C1、C2、C3と同じものであり、Cn2(n=1、2、3)は光電信号 $IK02n$ (n=1、2、3)から得られた各波長毎の比であり、Cn3(n=1、2、3)は光電信号 $IK20n$ (n=1、2、3)から得られた各波長毎の比である。

【0151】また、図10で示した位相差、位置ずれ検

36

出回路56は、図18では回折状態の異なる干渉ビーム毎にグループ化されたずれ量 ΔX_{n1} 、 ΔX_{n2} 、 ΔX_{n3} (n=1、2、3)を出力するように変更される。このずれ量のうち ΔX_{n1} (n=1、2、3)は図10中のずれ量 ΔX_1 、 ΔX_2 、 ΔX_3 と同じものであり、 ΔX_{n2} (n=1、2、3)は光電信号 $IK02n$ (n=1、2、3)から求められた各波長成分毎のずれ量であり、 ΔX_{n3} (n=1、2、3)は光電信号 $IK20n$ (n=1、2、3)から得られた各波長成分毎のずれ量である。なお、この検出回路56は先の図15、16で説明したような位相差 $\Delta\beta_{0n}$ 、 $\Delta\beta_{2n}$ (n=1、2、3)に応じた値を中間的に算出している。

【0152】さらに図10中の加重平均化回路60は、図18では選択的な加重平均化回路に変更され、±1次光の干渉ビームBMの光電検出結果のみに基づいて最終的な位置ずれ量を ΔX を算出する図10と同じ第1の演算モード、0次-2次光の干渉ビームの光電検出結果のみに基づいて最終的なずれ量 ΔX を算出する第2の演算モード、及び全ての干渉ビーム光電検出結果に基づいて最終的なずれ量 ΔX を算出する第3の演算モードを備えている。これら3つの演算モードはオペレータによって適宜選択可能であるが、第3の演算モードを指定したときは、さらに2~3の演算アルゴリズムを選ぶことができる。このようなモード指定、アルゴリズム選択については後で詳しく述べる。

【0153】さて本実施例の場合も、まず初めにウェハステージWST上のフィジューショナルマーク板FGの格子マークが、対物レンズ22からの送光ビーム±LFで照射されるように干渉計44に従ってステージWSTの位置決めが行われる。その後、位置制御器62(図10)からの指令信号CQにตอบสนองして、3つの光源LS1、LS2、LS3が一定時間(例えばビート周期数2△fの周期の100倍程度)毎に順次切り換え点灯され、フィジューショナルマーク板FGの格子マークが、順次波長切り換えされる送光ビーム±LFによって照射される。そこで例えば、3つの光源LS1、LS2、LS3が波長の短い順番で切り換え点灯されるものとする。まず光源LS1(波長 λ_1)が点灯している間に光電素子DT0から出力される信号 I_{mn} (n=1)のデジタル波形データは、サンプリング用パルス信号Cpsにตอบสนองして図19中のメモリ領域a1に記憶される。

【0154】同時に、光電素子DT2aからの信号 $IK02n$ (n=1)のデジタル波形データはパルス信号Cpsにตอบสนองしてメモリ領域b1に記憶され、光電素子DT2bからの信号 $IK20n$ (n=1)のデジタル波形データはパルス信号Cpsにตอบสนองしてメモリ領域c1に記憶され、そして光電素子40からの信号 I_{ms} (波長 λ_1)のデジタル波形データはパルス信号Cpsにตอบสนองしてメモリ領域d1に記憶される。

【0155】以下同様にして、光源LS2、LS3の各

(20)

特開平 8-288197

37

々が点灯している間の各光電素子からの信号 i_{mn} 、 $IK02n$ 、 $IK20n$ 、 i_{ms} ($n=2, 3$) が対応するメモリ領域 an 、 bn 、 cn 、 dn ($n=2, 3$) のそれぞれに記憶される。次に振幅検出回路 58 によってメモリ回路ユニット 54 のメモリバンク $MMbn$ 内の各波形データを解析して、各波長毎の信号 $IK02n$ の振幅値 (ピーク to ピーク) を $J02n$ ($n=1, 2, 3$) として算出して記憶する。同様にして、振幅検出回路 58 はメモリバンク $MMcn$ 内の各波形データを解析して、各波長毎の信号 $IK20n$ ($n=1, 2, 3$) の振幅値 (ピーク to ピーク) を $J20n$ ($n=1, 2, 3$) として算出して記憶し、メモリバンク $MMan$ 内の各波形データを解析して各波長毎の信号 i_{mn} の振幅値 $J11n$ ($n=1, 2, 3$) を求めて記憶する。

【0156】以上によって予備動作が終了するので、次に実際に位置決め、位置合わせすべきウエハ W をステージ WST 上に載置し、ウエハ W 上の格子マーク MG が対物レンズ 22 からの送光ビーム $\pm LF$ によって照射されるようにステージ WST を位置決めする。そして、先のフィデューシャルマーク板 FG の格子マークの検出時と同様にして、3つの光源 $LS1$ 、 $LS2$ 、 $LS3$ を順次切り換え点灯しては各光電信号 i_{mn} 、 $IK02n$ 、 $IK20n$ ($n=1, 2, 3$)、 i_{ms} の各波形データをメモリ回路ユニット 54 に同時に取り込む。その後、メモリ回路ユニット 54 の各メモリ領域 an 、 bn 、 cn に記憶された信号 i_{mn} 、 $IK02n$ 、 $IK20n$ ($n=1, 2, 3$) の各々の各信号の振幅値を検出回路 58 によって、それぞれ E_n (図 11 参照)、 $E02n$ 、 $E20n$ (図 15、16 参照) として算出する。

【0157】一方、位相差、位相ずれ検出回路ユニット 56 は、メモリ回路ユニット 54 の各メモリ領域 an 、 bn 、 cn に記憶された信号 i_{mn} 、 $IK02n$ 、 $IK20n$ ($n=1, 2, 3$) を各波長毎に読み出して、各信号 i_{mn} 、 $IK02n$ 、 $IK20n$ の参照信号 i_{ms} に対する位相 $\Delta\phi_n$ 、 $\Delta\beta_{0n}$ 、 $\Delta\beta_{2n}$ ($n=1, 2, 3$) と、位相ずれ量 ΔX_{n1} 、 ΔX_{n2} 、 ΔX_{n3} ($n=1, 2, 3$) とを順次算出しておく。

【0158】こうして、各波長毎の振幅値や位置ずれ量が回折状態の異なる検出光 (干渉ビーム) ごとに求まると、振幅比検出回路 58 は以下の演算を行う。

【数 1】

$$(A1) C11 = E1 / J111$$

$$(A2) C21 = E2 / J112$$

$$(A3) C31 = E3 / J113$$

【数 2】

$$(B1) C12 = E021 / J021$$

$$(B2) C22 = E022 / J022$$

$$(B3) C32 = E023 / J023$$

【数 3】

$$(C1) C13 = E201 / J201$$

38

$$(C2) C23 = E202 / J202$$

$$(C3) C33 = E203 / J203$$

次に平均化回路ユニット 60 によって最も確からしいずれ量 ΔX が算出されるが、 ± 1 次光の干渉ビーム BM のみを使った第 1 の演算モードでは、先の図 10 の場合と同様であり、

$$\Delta X = (C11 \cdot \Delta X11 + C21 \cdot \Delta X21 + C31 \cdot \Delta X31) / (C11 + C21 + C31)$$

によって算出される。

【0159】一方、0 次-2 次光の干渉ビームのみを使った第 2 の演算モードでは、 ± 1 次光の干渉ビーム BM の左側に発生する 0 次-2 次光の干渉ビームの検出によって得られた位相差 $\Delta\beta_{0n}$ と、干渉ビーム BM の右側に発生する 0 次-2 次光の干渉ビームの検出によって得られた位相差 $\Delta\beta_{2n}$ との平均位相差から、各波長毎の位置ずれ量を算出するアルゴリズムが採用される。その位相差の平均とは、いわゆるランダム成分を低減させて精度向上を図る目的での平均化とは異なり、0 次光と ± 2 次光との干渉ビームを使って位置検出する場合に原理的に実施しなければならない平均化である。

【0160】そこで本実施例ではそのアルゴリズムをベースとして、平均化回路ユニット 60 はまず信号 $IK02n$ から求められた各位置ずれ量 ΔX_{n2} ($n=1, 2, 3$) と信号 $IK20n$ から求められた各位置ずれ量 ΔX_{n3} ($n=1, 2, 3$) との各波長毎の平均値 ΔX_{An} ($n=1, 2, 3$) を以下のよう算出する。

$$\Delta X_{A1} = (\Delta X_{12} + \Delta X_{13}) / 2$$

$$\Delta X_{A2} = (\Delta X_{22} + \Delta X_{23}) / 2$$

$$\Delta X_{A3} = (\Delta X_{32} + \Delta X_{33}) / 2$$

さらに平均化回路ユニット 60 は、振幅比検出回路ユニット 58 で求められた 0 次-2 次光の干渉ビームの振幅比 C_{n2} 、 C_{n3} の各波長成分毎の平均値 C_{An} ($n=1, 2, 3$) を以下のよう算出する。

【0161】

$$CA1 = (C12 + C13) / 2$$

$$CA2 = (C22 + C23) / 2$$

$$CA3 = (C32 + C33) / 2$$

その後、平均化回路ユニット 60 は、各波長成分毎の平均的な位相 C_{An} を重み係数として、各波長成分毎の平均的な位置ずれ量 ΔX_{An} を以下のよう加重平均して、最も確からしいずれ量 ΔX を算出する。

$$[0162] \Delta X = (CA1 \cdot \Delta X_{A1} + CA2 \cdot \Delta X_{A2} + CA3 \cdot \Delta X_{A3}) / (CA1 + CA2 + CA3)$$

以上により、第 2 の演算モードによる格子マーク MG の位置又は位置ずれ検出が達成される。また第 3 の演算モードでは、第 1 の演算モードで算出された位置ずれ量と第 2 の演算モードで算出された位置ずれ量とを単純平均する第 1 アルゴリズムと、それら 2 つの位置ずれ量を加重平均する第 2 アルゴリズムとのいずれか一方を、オベ

(21)

特開平 8-288197

39

40

レータによって予め設定可能となっている。そこで第1の演算モード(±1次光の干渉ビームの検出結果を使うモード)で最終的に算出された位置ずれ量を $\Delta X M1$ とし、第2の演算モードで最終的に算出された位置ずれ量を $\Delta X M2$ とすると、第1アルゴリズムで決定される位置ずれ量は $(\Delta X M1 + \Delta X M2) / 2$ で算出される。

【0163】一方、第2アルゴリズムでは、第1の演算モードで算出されるずれ量 $\Delta X M1$ と第2の演算モードで算出される $\Delta X M2$ とを、所定の重み係数 $Q1$ 、 $Q2$ を使って加重平均する。一例として、重み係数 $Q1$ は、±1次光の干渉ビーム $B M$ を光電検出して得られた信号 $I m n$ ($n = 1, 2, 3$)の夫々の振幅値 $E1$ 、 $E2$ 、 $E3$ (図11参照)の和に対応させ、重み係数 $Q2$ は0次-2次光の干渉ビームを光電検出して得られた信号 $I K 0 2 n$ 、 $I K 2 0 n$ ($n = 1, 2, 3$)の各波長毎の平均振幅値 $(E 0 2 1 + E 2 0 1) / 2$ 、 $(E 0 2 2 + E 2 0 2) / 2$ 、 $(E 0 2 3 + E 2 0 3) / 2$ の代数和に対応させる。従って、第2アルゴリズムは以下の演算により格子マーク $M G$ のずれ量 ΔX が決定される。

$$【0164】\Delta X = (Q1 \cdot \Delta X M1 + Q2 \cdot \Delta X M2) / (Q1 + Q2) \quad 20$$

なお、原理的に言って高次の回折光ほど、その光強度が小さいので、±1次光の干渉ビーム $B M$ の光強度振幅($E n$ に対応)にくらべて0次-2次光の干渉ビームの光強度振幅($E 0 2 n$ 、 $E 2 0 n$ に対応)はかなり小さくなる。従って単純に信号 $I m n$ 、 $I K 0 2 n$ 、 $I K 2 0 n$ の振幅のみの和で重み係数 $Q1$ 、 $Q2$ を決定してしまうと、ほとんどの場合重み係数 $Q1$ の方が係数 $Q2$ よりも大きくなってしまふ。そこで係数 $Q2$ のほうは算出された値を、例えば予め定めた割合(一例として10~30%)だけ増大させるように補正しておくのがよい。次に本発明の第7の実施例を図20を参照して説明する。この実施例では、先の図8中に示したウエハステージ $W S T$ 上のフィデューシャルマーク板 $F G$ の構造を透過型の格子マーク(振幅透過率に非対称性がない格子)に変更し、その格子マークから透過して発生する干渉ビームを光電検出することによって、各光電信号 $I m n$ 、 $I K 0 2 n$ 、 $I K 2 0 n$ の振幅比を検出回路ユニット58で算出する際に使う分母(基準値)を求めるようにした。

【0165】図20はウエハステージ $W S T$ の部分断面を表し、送光ビーム $\pm L F$ (ここでは波長 $\lambda 1$ 、 $\lambda 2$ の2波長とする)がフィデューシャルマーク板 $F G$ 上の格子マークを各波長成分毎に順次切り換えて照射されると、その格子マークからステージ内部に向けて0次光、±1次光、±2次光が発生する。これらの回折光はミラー $M R$ で直角に曲げられてフーリエ変換機能を有するレンズ系 $G 5$ に入射され、フィデューシャルマーク板 $F G$ から垂直に発生する±1次回折光による干渉ビーム $B m r n$ ($n = 1, 2$)、0次-2次回折光による干渉ビーム $\pm B 1 r$ (波長 $\lambda 1$)、 $\pm B 2 r$ (波長 $\lambda 2$)となって光電

素子群 $D T R$ に入射する。

【0166】この光電素子群 $D T R$ は、干渉ビーム $B m r n$ を受光してビート周波数に応じた交流の光電信号 $I m r n$ を出力する中央受光部と、干渉ビーム $+ B 1 r$ (波長 $\lambda 1$)と $+ B 2 r$ (波長 $\lambda 2$)とを共通に受光してビート周波数に応じた交流の光電信号 $I R 2 0 n$ を出力する受光部と、干渉ビーム $- B 1 r$ (波長 $\lambda 1$)と $- B 2 r$ (波長 $\lambda 2$)とを共通に受光してビート周波数に応じた交流の光電信号 $I R 0 2 n$ を出力する受光部とで構成される。

【0167】従って、送光ビーム $\pm L F$ が波長 $\lambda 1$ の間は、波長 $\lambda 1$ による0次-2次光の干渉ビーム $\pm B 1 r$ と波長 $\lambda 1$ による±1次光の干渉ビーム $B m r 1$ とが光電素子群 $D T R$ に達し、送光ビーム $\pm L F$ が波長 $\lambda 2$ の間は、波長 $\lambda 2$ による0次-2次光の干渉ビーム $\pm B 2 r$ と波長 $\lambda 2$ による±1次光の干渉ビーム $B m r 2$ とが光電素子群 $D T R$ に達する。このため、波長 $\lambda 1$ のときは各受光部から光電信号 $I m r 1$ 、光電信号 $I R 0 2 1$ 、 $I R 2 0 1$ が得られ、波長 $\lambda 2$ のときは各受光部から光電信号 $I m r 2$ 、光電信号 $I R 0 2 2$ 、 $I R 2 0 2$ が得られる。

【0168】ヘテロダイン方式の場合、これらの光電信号はビート周波数と等しい周波数の正弦波状の波形となって現れ、光電信号 $I m n$ 、 $I R 0 2 n$ 、 $I R 2 0 n$ は先の図18に示した A/D コンバータ回路ユニット50へ入力信号 $I m n$ 、 $I K 0 2 n$ 、 $I K 2 0 n$ の各々と切り換えられて入力される。具体的には図18の回路中に、信号 $I m r n$ と信号 $I m n$ とを切り換えて A/D コンバータ回路50に入力するスイッチ、信号 $I R 0 2 n$ と信号 $I K 0 2 n$ とを切り換えて A/D コンバータ回路50に入力するスイッチ、及び信号 $I R 2 0 n$ と信号 $I K 2 0 n$ とを切り換えて A/D コンバータ回路50に入力するスイッチを追加し、それら3つのスイッチを連動させて位置制御器62(図10)からの指令信号にตอบสนองして切り換えるように構成すればよい。

【0169】これらの光電素子群 $D T R$ からの光電信号は波形メモリ回路ユニット54に一時的に記憶された後、それらの光電信号の各振幅値が図18中の振幅検出回路ユニット58で求められて記憶される。そして振幅比を求める際には、例えば以下の演算を行う。

$$C11 = I m 1 / I m r 1$$

$$C21 = I m 2 / I m r 2$$

$$C12 = I K 0 2 1 / I R 0 2 1$$

$$C22 = I K 0 2 2 / I R 0 2 2$$

$$C13 = I K 2 0 1 / I R 2 0 1$$

$$C23 = I K 2 0 2 / I R 2 0 2$$

このように本実施例ではフィデューシャルマーク板 $F G$ を透過した回折光の干渉ビームを光電素子群 $D T R$ で光電検出するようにしたので、その素子群 $D T R$ から得られる各光電信号の位相情報と参照信号としての光電信号 $I m s$ の位相情報とを比べるようにすると、フィデューシャルマーク板 $F G$ の位置ずれ、又は位置の計測、すなわ

(22)

特開平8-288197

41

ちベースライン計測の一部分の動作を兼用させることができる。

【0170】次に本発明の第8の実施例を図21を参照して説明する。本実施例では、対物レンズ22を介してウエハW（又はフィジューショナルマーク板FG）上の計測用（アライメント用）の格子マークMGを照射する1対の送光ビーム+LFと-LFとの偏光方向を相補的な関係にする。すなわち直線偏光であれば送光ビーム+LFと-LFとの偏光方向を直交させ、円偏光であれば送光ビーム+LFと-LFとを互いに逆回りの偏光に設定する。このため2つの送光ビーム+LFは互いに干渉することがなく、格子マークMGから垂直に発生する各波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の±1次回折光BMも互いに干渉しない。

【0171】そのため、±1次回折光BMを対物レンズ22、小ミラーMR2を介して光電検出する際、検光子（アナライザー）としての偏光ビームスプリッタPBSを用いる。このようにすると、偏光ビームスプリッタPBSを透過した±1次光BMは互いに干渉して第1の干渉ビームBP1となり、偏光ビームスプリッタPBSで反射された±1次光BMは互いに干渉して第2の干渉ビームBP2となる。

【0172】これら干渉ビームBP1、BP2は互いに相補的ではあるが、それぞれの干渉ビームはヘテロダイン方式であればビート周波数に応じて正弦波状に強度変調されたものとなる。さらに干渉ビームBP1とBP2の強度変調の位相は丁度180度だけ異なったものとなっている。尚、同図中に示した1/2波長板HWは、送光ビーム±LFと±1次回折光BMの互いに直交する直線偏光方向が、偏光ビームスプリッタPBSの偏光分離方向と異なる（回転している）場合に、±1次回折光BM間の直線偏光方向を修正する目的で設けられたものである。このため、±1次回折光BMの間の互いに直交した直線偏光方向が最初から偏光ビームスプリッタPBSの偏光分離方向と一致しているか、あるいは送光ビーム+LF、-LFが逆回りの円偏光になっているときは1/2波長板HWを用いなくてもよい。

【0173】そこで本実施例では、干渉ビームBP1を光電素子DT0aで受光し、干渉ビームBP2を光電素子DT0bで受光するように構成し、光電素子DT0aとDT0bの両光電信号を差動アンプによって減算して光電信号Imnを得る構成とした。このように差動アンプを用いたのは、光電素子DT0aの光電信号と光電素子DT0bの光電信号とが互いに逆位相（180°の差）になっているからであり、両信号に共通に含まれる同相ノイズ成分が減算によってキャンセルされ、信号Imnの真実的なS/N比が改善されるからである。

【0174】ところで、先の図8、17、21に示した対物レンズ22は、使用する波長域（ $\lambda_1 \sim \lambda_3$ ）において発生する各種の色収差のうち、少なくとも軸上色収

42

差についてある程度補正されているのが望ましい。仮に使用する波長 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ の帯域が100nm以下であれば、そのような軸上の色収差は対物レンズ22を構成する複数のレンズ素子の材料を選択したり、異なる屈折率、分散比のレンズ素子を組み合わせることによってある程度補正可能である。もちろん、そのような色収差は対物レンズ22で完全に補正しておく必要もなく、図8に示した調整光学系14、16、18により補正することも可能である。

【0175】以上、本発明の各実施例を説明したが、ウエハWやフィジューショナルマーク板FG上の格子マークMGをホモダイン方式で検出する場合、その格子マークMGをピッチ方向にブリスキャンして各光電信号のレベル変化をサンプリングする必要がある。その場合、最も簡単な手法は、図10又は図18に示した信号波形サンプリング用のクロック信号Cpsを、ステージWSTの位置計測用のレーザ干渉計44からの計測パルス（例えば0.02μm毎に1パルス）に変更することである。

【0176】このようにすると、格子マークMGを数ピッチ分に渡ってブリスキャンする間に発生する各光電信号の波形データが格子マークMGの格子位置に対応してメモリ回路54に記憶されることになる。ただしステージWSTのブリスキャンは、送光ビーム±LFの各波長毎の切り換えに匹敵した回数分が必要となる。また、格子マークMGに2つの送光ビーム±LFを照射する方式では、その2つの送光ビーム±LFは格子マークMGの少なくともピッチ方向に関して対称的な入射角にするのが望ましく、また先の図7のように格子マークMGに1本の送光ビームを投射する方式では、その入射角は格子マークMGのピッチ方向に関して零（垂直入射）にするのが望ましい。すなわち送光ビームを格子マークMGのピッチ方向と直交した方向（非計測方向）に傾けてもよいことを意味する。

【0177】ところで、各波長毎に切り換えられる照明光束を計測用の格子マークMG（またはフィジューショナルマーク）に投射する際、図5、7、8のように各波長毎の複数のレーザビームを一度同軸になるように合わせずに、格子マークMGのフーリエ変換面において、マーク位置の計測方向（ピッチ方向）と直交した非計測方向に分離して送光するように構成してもよい。すなわち複数の照明ビームの波長毎に格子マークMGへの入射角を非計測方向に異ならせることもできる。そこでそのような構成の位置検出系の例を本願の第9の実施例として図22、23を参照して説明する。

【0178】図22は投影レンズの後群レンズ系G2または対物レンズ22に入射する2つの波長のビーム±LF λ_1 、±LF λ_2 の送光の様子を示し、それらビーム±LF λ_1 、±LF λ_2 は格子マークMGに対するフーリエ変換面（瞳面）EP上で光軸AXから偏心した位置を通る。また各ビーム±LF λ_1 、±LF λ_2 は同図中

(23)

特開平 8-288197

43

の紙面と垂直な方向に分離した2本のビームで構成される。さらに同図中の格子マークMGのピッチ方向も紙面と垂直な方向であり、波長 λ_1 のビーム $\pm L F \lambda_1$ と波長 λ_2 のビーム $\pm L F \lambda_2$ とがフーリエ変換面E P上で非計測方向(同図の紙面内の左右方向)にずれて通るように設定しておく。

【0179】これによって格子マークMGから発生してフーリエ変換面E Pまで戻ってくる ± 1 次回折光の干渉ビーム B_{m1} 、 B_{m2} も、波長毎にフーリエ変換面E P上で非計測方向に分離した位置を通る。干渉ビーム B_{m1} は送光ビーム $\pm L F \lambda_1$ の照射によりマークMGから発生したものであり、干渉ビーム B_{m2} は送光ビーム $\pm L F \lambda_2$ の照射によりマークMGから発生したものであり、それら送光ビームと干渉ビームとはフーリエ変換面E P上では、例えば図23のように分布する。

【0180】図23において、フーリエ変換面E Pの中心を原点とする直交軸(計測軸と非計測軸)を設定したとき、2組の送光ビーム $\pm L F \lambda_1$ 、 $\pm L F \lambda_2$ の非計測軸の方向のずれ量 D_h は、1次回折光による干渉ビーム B_{m1} 、 B_{m2} の非計測方向のずれ量に対応したものとなる。このように格子マークMGを照射するビームを各波長成分毎に非計測方向に傾けておくと、干渉ビーム B_{m1} 、 B_{m2} もフーリエ変換面E P内で分離して分布することになるので、各光電素子の受光面をフーリエ変換面E P上またはその面E Pと共役な面上に配置するだけで、同様に光電検出が可能となる。

【0181】すなわち、光電検出すべき複数の干渉ビーム(± 1 次回折光の干渉、0-2次回折光の干渉)が各波長毎にフーリエ変換面E P上で分離していれば、波長毎に各干渉ビームを個別に光電検出可能である。すなわち各波長毎に別々の光電素子で受光できるので、各光電素子毎に接続される増幅アンプのゲインを最適に微調整しておくことが可能となる。

【0182】また、送光ビームの生成はレーザ光源に限らず、ハロゲンランプからの光、高輝度LEDからの光を利用しても実現できる。ハロゲンランプからの光を利用するときは、互いに異なる波長部分で狭いバンド幅を有する複数の波長選択フィルタ(又は干渉フィルタ)を交換可能に設け、このフィルタを時分割的に切り換えて選択された波長幅の光を、例えば光ファイバー等で導光して使えばよい。この場合、ウェハ上の格子マークMGを照射する送光ビームは、選択された狭い波長バンド幅内であっても連続したスペクトル強度分布を有するため、受光系内の各光電素子の前に特定の波長成分のみを取り出す干渉フィルタ(バンド幅は3~10nm)を固定的または交換可能に配置してもよい。

【0183】

【発明の効果】以上、本発明によれば位置検出用の照明光を複数の波長成分毎に切り換え、基板上の位置検出用の格子状マークから発生する回折光を波長成分毎に個別

44

に光電検出し、それによって得られる各光電信号毎にマーク位置情報を検出して計算上で平均化するようにしたので、マークの非対称性やレジスト層の厚みむらによる影響を低減させた高精度な位置検出が可能となる。また、マークからの回折光を光電検出する際に、波長成分毎に独立した光電信号を得るようにしたので、照明光の各波長成分毎の強度が異なっている、従来のような多波長化による平均化効果を損なうことがないといった利点もある。

【0184】さらに本発明によれば、光電検出すべき回折光がより高次の成分からなる場合であっても、従来のように単一の光電素子で多波長化された高次回折光(0次、2次光の干渉ビーム等)を同時に受光する際に生じる相乗現象がなくなり、従来に比べて各段に高精度な位置検出、アライメントが可能となる。しかも本発明では、光電検出された各波長成分毎の回折光の強度レベルの減衰率(振幅比)を求め、その減衰率が小さく信号振幅が相対的に大きくなっている回折光に対しては、大きな重みを加えた平均化演算により位置検出を行うようにしたので、単純な平均化に比べて格段に位置検出の精度が高いといった効果も得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】格子マークを検出したときの検出誤差と信号変化の振幅分との関係をシミュレーションしたグラフ

【図2】図1のシミュレーションで想定した格子マークとレジスト層の構造の一例を示す断面図

【図3】複数の波長の光の照射によって格子マークから発生する各次数の回折光の様子を示す図

【図4】1次回折光を使って図2のような構造のマークを検出したときの検出誤差と、0次-2次回折光を使ってマークを検出したときの検出誤差とをシミュレーションしたグラフ

【図5】本発明の第1の実施例による位置検出装置の構成を示す図

【図6】干渉縞と格子との相対的な位置関係の変化と検出信号のレベル変化を表す図

【図7】本発明の第2の実施例による位置検出装置の構成を示す図

【図8】本発明の第3の実施例による位置検出装置の構成を示す図

【図9】回転ラジアル格子板による回折ビームの発生の様子を示す斜視図

【図10】第3の実施例による装置に適用される信号処理回路を示すブロック図

【図11】図10の処理回路のメモリ中に取り込まれる各信号の波形の一例を示す図

【図12】本発明が適用し得る投影露光装置の概略構成を第4の実施例として示す図

【図13】図12に示した装置のTTLアライメント系の部分拡大図

(24)

特開平 8-288197

45

46

【図14】図12に示した装置の変形例を第5の実施例として説明する図

【図15】回折格子からの1次光と2次光との干渉により得られた各波長毎の光電信号の波形の一例を示す図

【図16】回折格子からの1次光と2次光との干渉により得られた各波長毎の光電信号の波形の一例を示す図

【図17】本発明の第6の実施例による位置検出装置の構成を示す図

【図18】図17の装置に適用される信号処理回路の構成を示すブロック図

【図19】図18中の波形メモリ回路ユニット内のメモリバンクの配置を説明する図

【図20】本発明の第7の実施例による装置の部分構成を示す断面図

【図21】本発明の第8の実施例による位置検出装置の構成を示す図

【図22】本発明の第9の実施例による位置検出装置に*

* おける照明ビームの投射方式を示す図

【図23】図22の照明ビームの投射方式の際のフーリエ変換面上での各ビームの配置例を示す図

【符号の説明】

RG……基準格子

MG……格子マーク

G1……投影レンズの前群レンズ系

G2……投影レンズの後群レンズ系

LS1、LS2、LS3……レーザ光源

10 RRG……回転ラジアル格子板（周波数シフター）

W……ウエハ

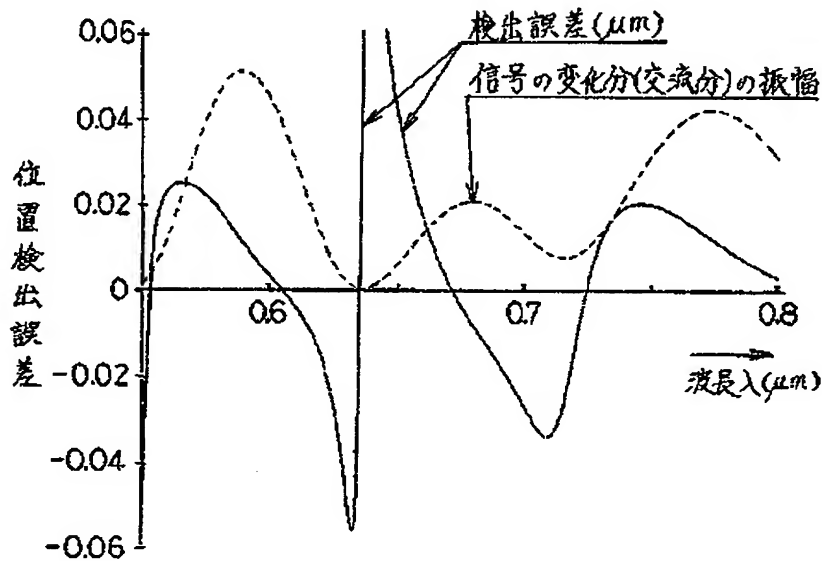
FG……フィデューシャルマーク板

DT0、DT1、DT2a、DT2b、DTR、40……光電素子

22……対物レンズ

CU5、60……加算平均化回路

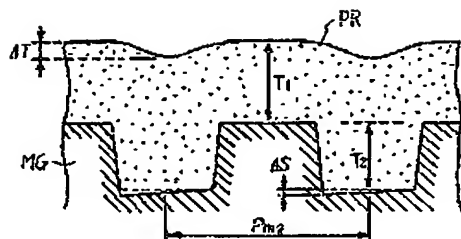
【図1】



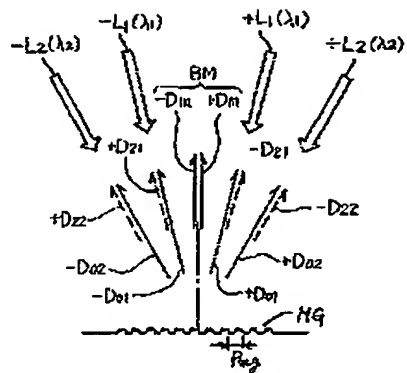
(25)

特開平 8-288197

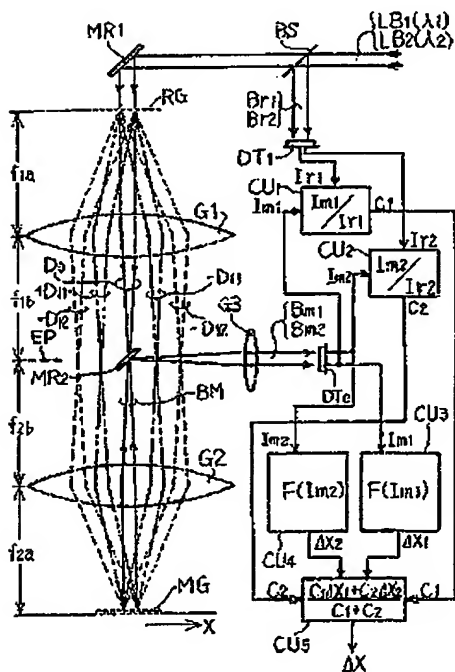
【図2】



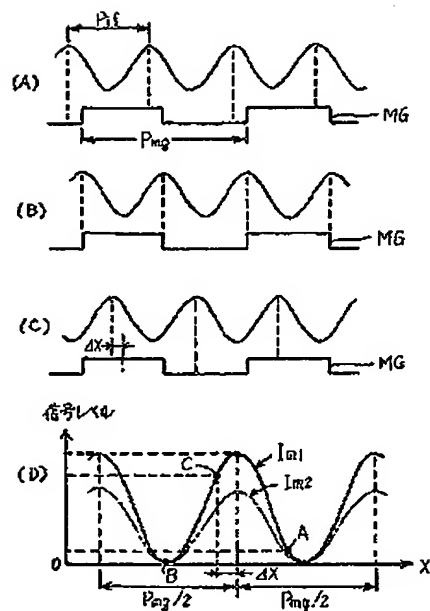
【図3】



【図5】



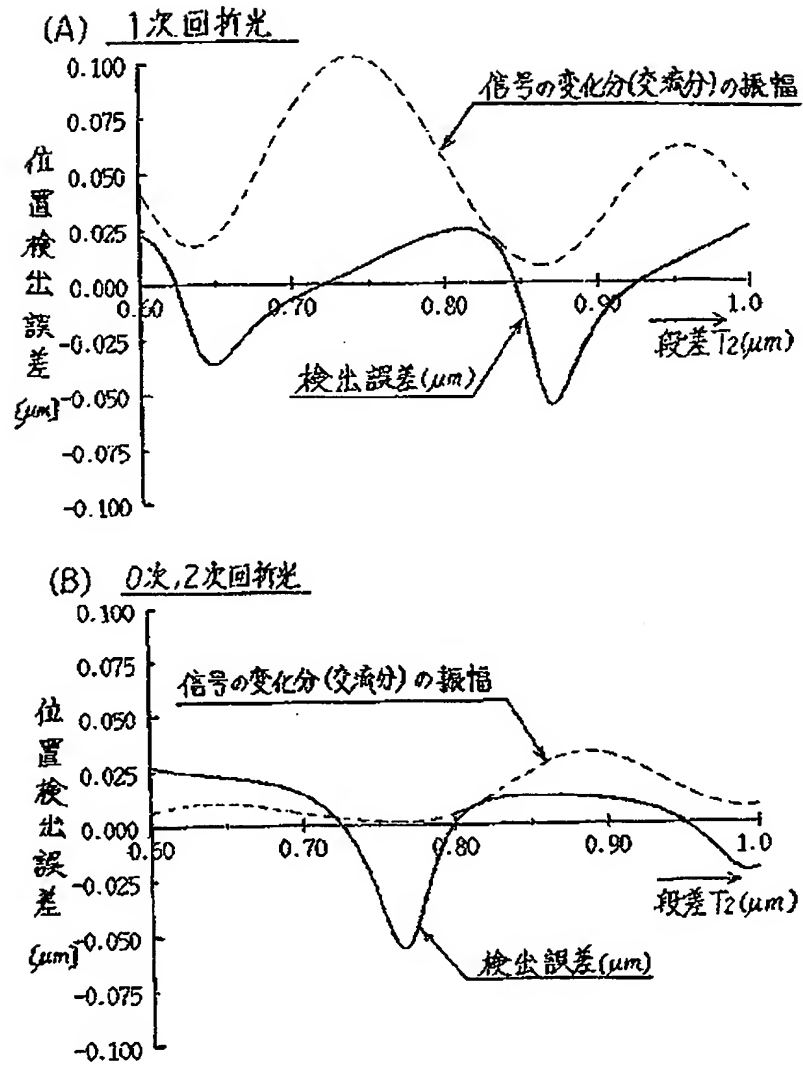
【図6】



(25)

特開平8-288197

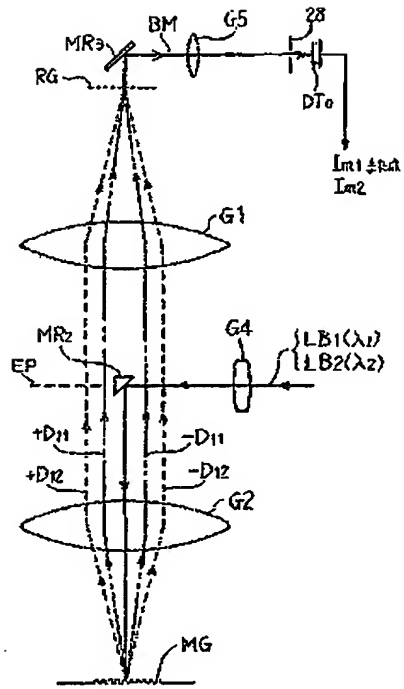
【図4】



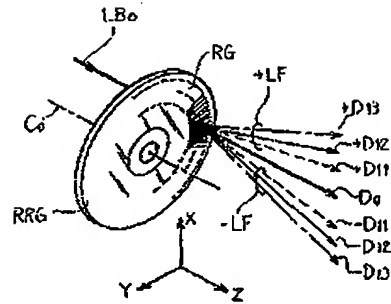
(27)

特開平 8-288197

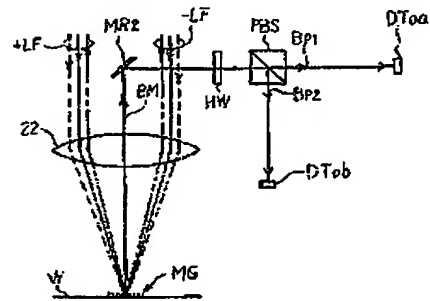
【図 7】



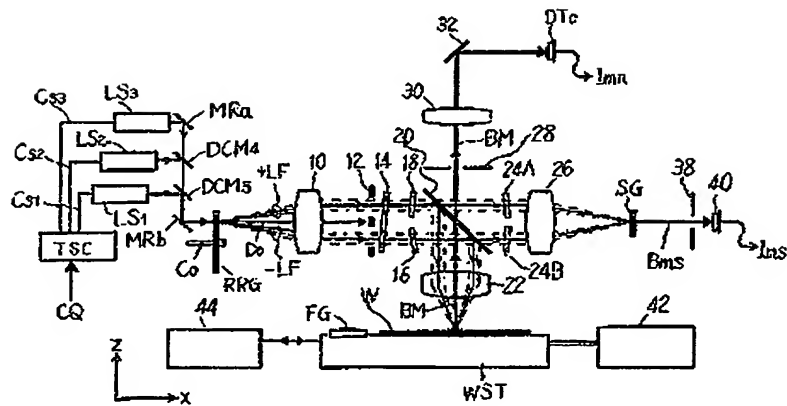
【図 9】



【図 21】



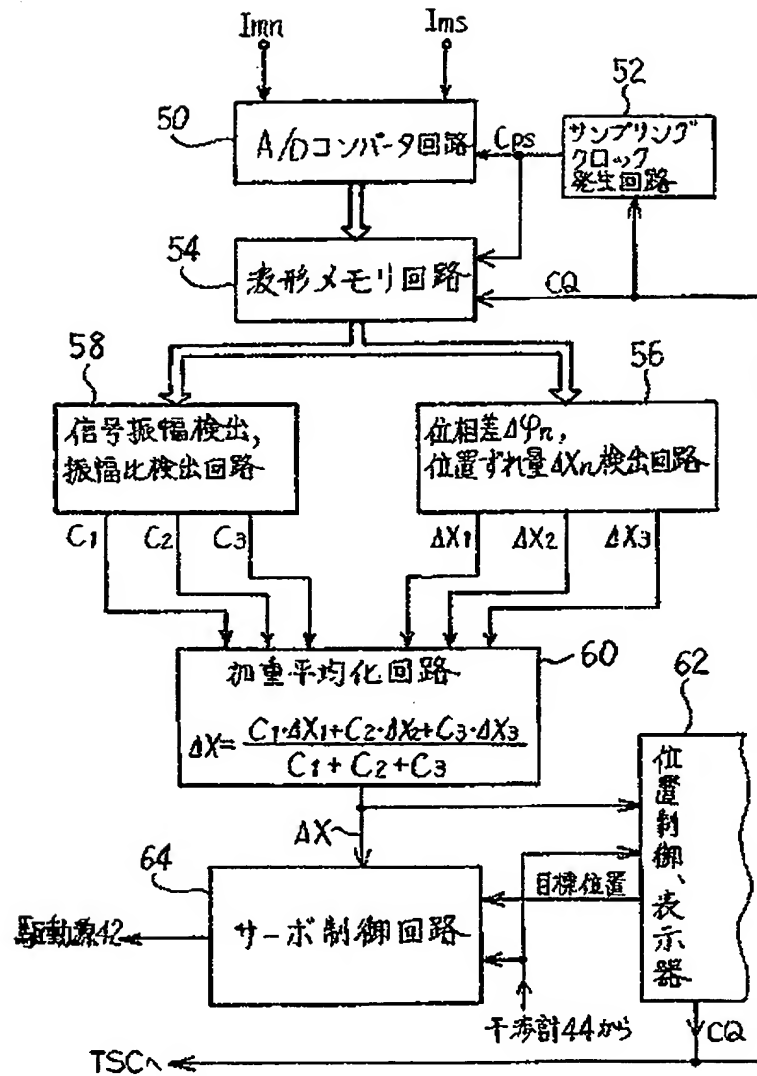
【図 8】



(28)

特開平8-288197

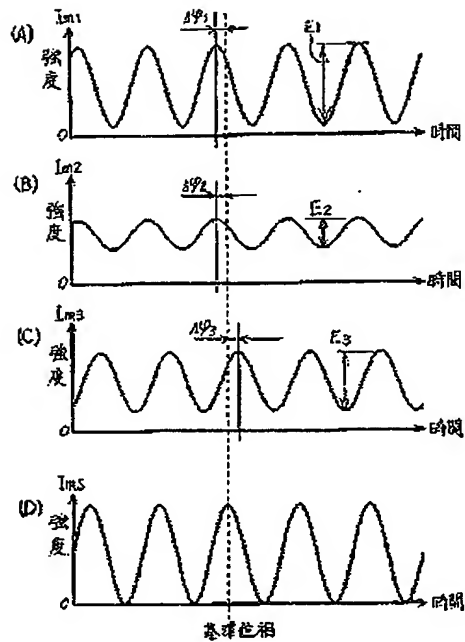
【図10】



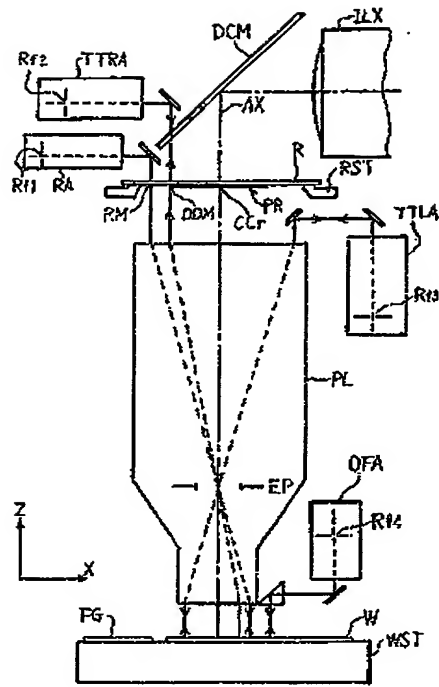
(29)

特開平8-288197

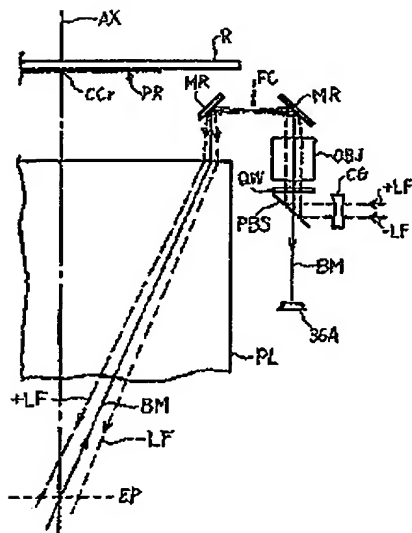
【図11】



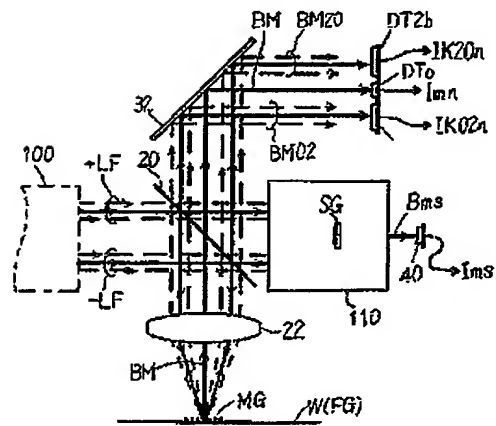
【図12】



【図13】



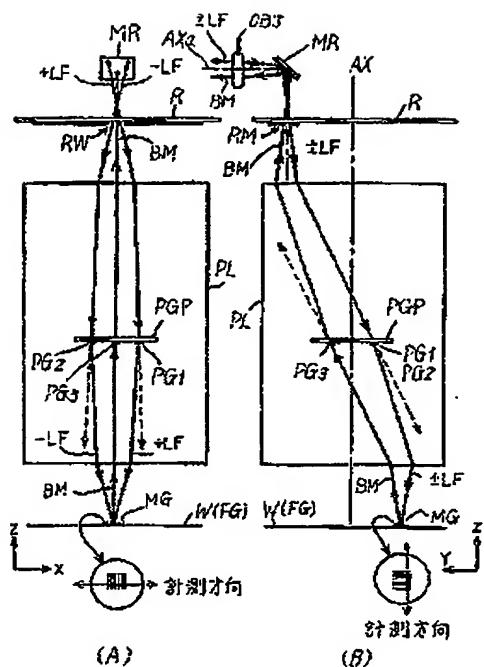
【図17】



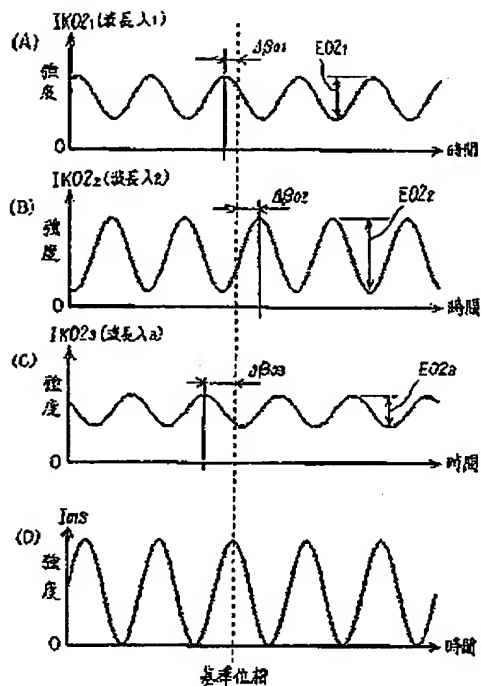
(30)

特開平8-288197

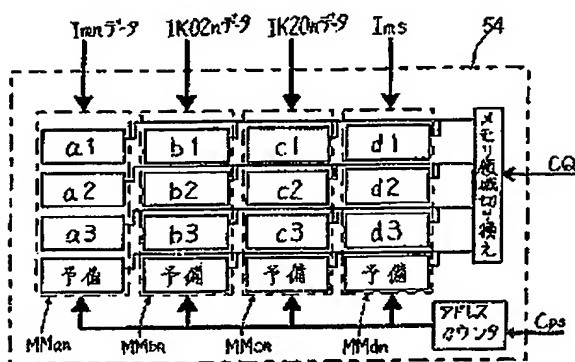
【図14】



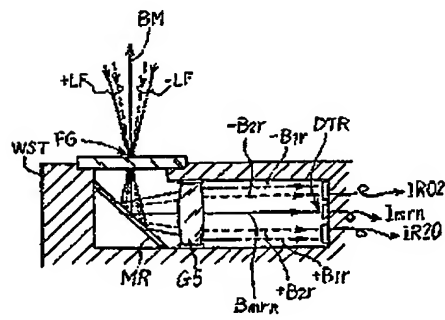
【図15】



【図19】



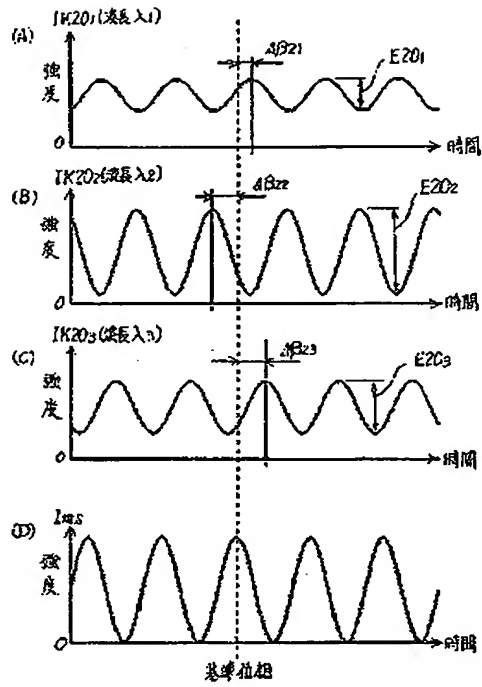
【図20】



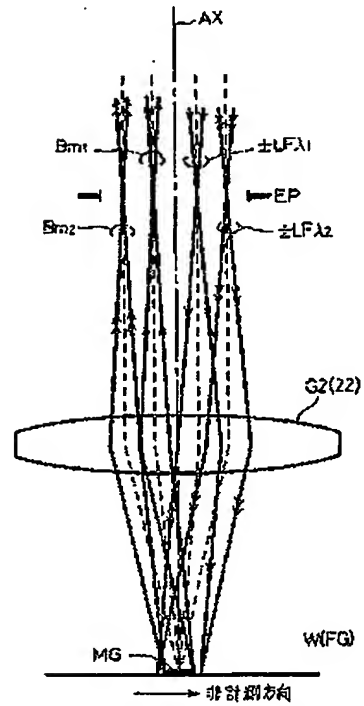
(31)

特開平8-288197

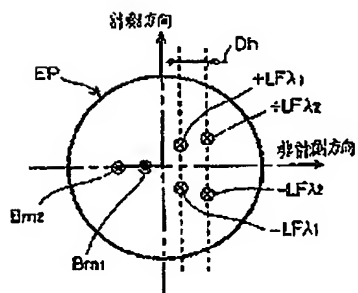
【圖16】



【圖22】



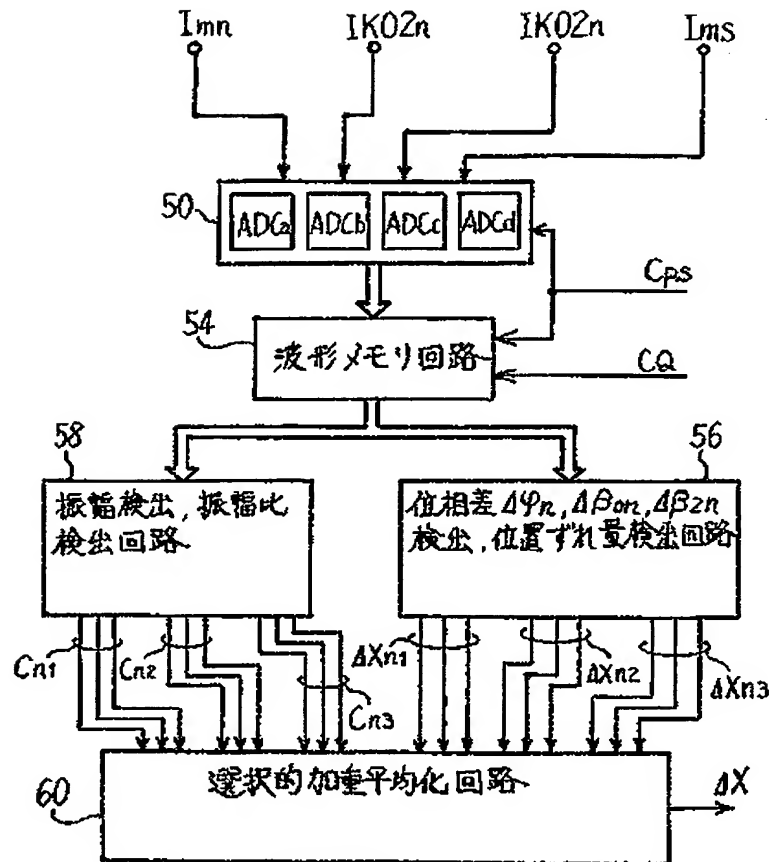
【圖23】



(32)

特開平8-288197

【図18】



(32)

特開平8-288197

【図18】

